



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

E.T.S.I. TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA



PROYECTO FIN DE CARRERA

Modelización tridimensional del Galeón Flamenco del Museo Naval de Madrid por métodos fotogramétricos (jarcia y ornamentación)

Jiménez Estrada, Ángela

Septiembre 2014

TUTOR: Julián Aguirre de Mata
COTUTOR: Elena Gallardo Merino



INDICE

1. INTRODUCCION.....	4
1.1. Antecedente.....	4
1.2. Introducción a la pieza.....	5
2. OBJETIVOS.....	7
3. METODOLOGIA.....	8
3.1. Anteproyecto.....	8
3.2. Calibración de la cámara.....	10
3.2.1. Introducción.....	10
3.2.2. Proceso de calibración.....	12
3.2.3. Resultados de la calibración.....	16
3.3. Observación, cálculo y ajuste de la red topográfica.....	21
3.3.1 Material utilizado.....	21
3.3.2 Metodología empleada y apoyo fotogramétrico.....	23
3.4. Toma fotográfica.....	29
3.5. Orientación fotogramétrica.....	33
3.5.1. Orientación Interna.....	33
3.5.2. Orientación Externa.....	33
3.5.2.1. Introducción.....	33
3.5.2.2. Proceso de orientaciones.....	34
3.5.2.3. Resultados.....	37
3.6. Restitución.....	43
3.6.1. Introducción.....	43
3.6.2. Proceso de restitución.....	43
3.7. Modelado tridimensional.....	45
3.7.1. Generación de volúmenes.....	46
3.7.2. Modelado de piezas.....	55
4. PRODUCTO FINAL.....	61
4.1 Vistas generales del producto final.....	62
4.2 Detalles del producto final.....	68
4.3 Comparativa de la toma y el producto final.....	71
5. PRESUPUESTO.....	77
6. CONCLUSIONES.....	79
7. BIBLIOGRAFIA.....	81
8. ANEXOS.....	82
ANEXO I. Cálculos topográficos y fotogramétricos	
ANEXO II. Reseñas	
ANEXO III. Planos	
- Plano planta cubierta	
- Plano planta casco	
- Plano alzado estribor	
- Plano alzado babor	
ANEXO IV. Secciones	
- Sección longitudinal	
- Secciones transversales	

1. Introducción

La fotogrametría es una ciencia que utiliza imágenes en dos dimensiones para crear modelos en tres dimensiones, mediante el uso de las relaciones matemáticas creadas en la geometría proyectiva y de la visión estereoscópica, con el fin de obtener las particularidades métricas y geométricas de los objetos (dimensión, forma y posición) que queremos representar.

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en que la imagen captada por una cámara, la cual ha sido proyectada sobre una proyección central (que es la usada por las lentes), sea proyectada en forma ortogonal sobre un plano de referencia.

El progreso de la informática, a partir de los años ochenta, condujo al tratamiento computarizado de imágenes digitales y al desarrollo de la visión por ordenador. En este momento, la fotogrametría se ha convertido en una disciplina en la que aumenta el número de usuarios, puesto que los equipos fotogramétricos que tenían un elevado coste están siendo remplazados por programas capaces de realizar todo el proceso fotogramétrico.

El fundamento de la fotogrametría es la obtención de coordenadas tridimensionales del modelo que queremos representar, a partir de la información obtenida de fotografías, mediante triangulación.

1.1 Antecedentes

En la actualidad se está ofreciendo la posibilidad de realizar copias virtuales de objetos. De esta manera, se puede tener un modelo virtual de la pieza con una alta precisión. Esto nos puede ser de gran ayuda para generar una biblioteca virtual de piezas antiguas o de interés cultural, o en el caso de que la pieza sufriera algún daño, poder proceder a su restauración.

Uno de los organismos interesados es el Museo Naval de Madrid, que tras ver los resultados obtenidos en la modelización tridimensional de la pieza MNM-23, solicitó la obtención de la representación tridimensional del Modelo de Galeón Flamenco, una de las piezas más antiguas y con más valor en su exposición, imponiendo que la precisión final del modelo virtual fuera de un milímetro.



Figura 1. Pieza MNM-23



Figura 2. Modelo virtual de la pieza MNM-23

1.2 Introducción a la pieza

La pieza que vamos a representar en este proyecto es un Modelo de Galeón del Museo Naval de Madrid.

Este modelo de Galeón Flamenco de 1593 es la única representación en tres dimensiones que se conserva de una embarcación del siglo XVI y es una de las piezas más significativas de la colección del Museo Naval de Madrid.

Se cree que este modelo fue un regalo de la embajada Flamenca a Felipe II, pasando a formar parte de su colección que tenía en el monasterio de El Escorial. Tras su paso por El Escorial, la pieza estuvo en el Alcázar de Madrid, después se trasladó a la Real Armería y finalmente, por orden de la reina Isabel II, al Museo Naval.

Poco antes de su ingreso en el Museo, sufrió las consecuencias de un incendio (Figuras 3, 5 y 7), afectando así a la arboladura, jarcia y al casco. Tras lo ocurrido, el barco quedó recubierto de una pátina negruzca, por lo que se tuvo que realizar una restauración de la pieza.

Se trata de un modelo que no posee escala y estaba destinado a colgarse del techo de las lonjas, puesto que era costumbre en los países del norte de Europa, pero esta desproporción es una fuente de gran valor documental, para conocer todas las características de un Galeón de la época:

- Carece de Alcázar
- Sólo tiene una cubierta con el combés cubierto con una red o jareta
- La toldilla recuerda a la de las galerías mediterráneas
- El castillo es corto, con mamparo de proa sobre el que apoya el palo trinquete (muy típico de los galeones)
- Va arbolado con cuatro palos (trinquete, mayor, mesana y contramesana) ya que era normal en los galeones contar con un cuarto palo a popa de mesana llamado contramesana o bonaventura)

La pieza está elaborada de madera tallada y policromada. Elaborado probablemente para expresar la gratitud por una victoria o un viaje feliz, como puede intuirse en la inscripción “ICK VARRE MET NEPTVNVS EN BOREAS ULP EN GHE TOT DIE HAVEN DAER MI ANKER VALT ANNO 1593” (“Con la ayuda de Neptuno y Boreas, fondeé en el puerto el año 1593”).



Figura 3. Casco antes de la restauración



Figura 4. Casco después de la restauración

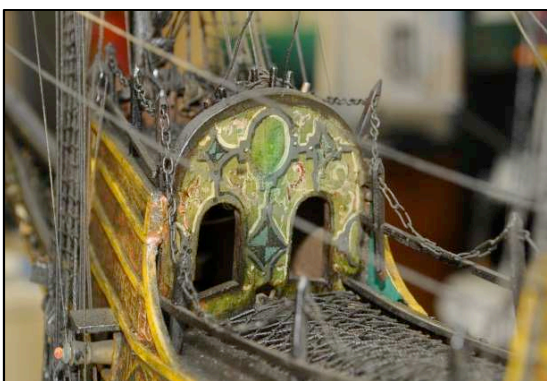


Figura 5. Cubierta antes de la restauración



Figura 6. Cubierta después de la restauración



Figura 7. Cofa antes de la restauración



Figura 8. Cofa después de la restauración



2. Objetivos

El propósito principal del proyecto es la realización del modelo tridimensional del Galeón Flamenco del Museo Naval, con un tamaño de 18 cm de ancho, 110 cm de alto y 124 cm de largo.

Debido a la antigüedad de la pieza y su fragilidad, la combinación de la fotogrametría y la topografía industrial son las técnicas ideales para su representación tanto por conservación como por su alta precisión.

Con la utilización de las técnicas antes mencionadas, se intenta conseguir una precisión en todo el modelo tridimensional que sea inferior al milímetro.

De esta manera, se explicará en todo el proceso la metodología utilizada en el trabajo, para examinar otra metodología más efectiva y de menor coste.

3. Metodología

3.1 Anteproyecto

Una vez seleccionado el motivo del proyecto y la finalidad del mismo, se procedió a la realización del anteproyecto, en el que se definieron los parámetros de las distintas etapas del proceso, los condicionantes del proyecto, el entorno y la toma fotográfica.

En primer lugar se atendió a la precisión que el cliente, en este caso el Museo Naval, nos exigió, siendo de 1 mm. Este fue nuestro dato de partida y para poder planificar todo el proyecto de toma fotográfica, se debía conocer las características de la cámara:

- Cámara OLYMPUS-E500 (no métrica)



Figura 9. Cámara Olympus-E50

- Tamaño del sensor:

$3264(\text{alto}) * 2448(\text{ancho})$ píxeles, o $17.3(\text{alto}) * 13(\text{ancho})$ mm.

- Tamaño del píxel en la imagen:

$(5.3 * 5.3)$ micras de resolución

- Distancia focal (14 mm): Es la distancia en mm que hay desde el centro óptico del objetivo al plano focal. Se eligió una focal pequeña por varios motivos; Primero porque al elegir una focal pequeña la amplitud del campo visual es bastante grande, reduciendo así el número de fotos a realizar (hecho importante puesto que no se dispone de una sala de trabajo muy amplia); segundo, porque el hecho de utilizar una focal pequeña implica mayor distorsión, pero esto no supone un problema puesto que dichas distorsiones se pueden corregir en el cálculo de la función de distorsión en la calibración; y el tercer y último motivo es situarlo en uno de los extremos del objetivo, así si se tienen que repetir trabajos para este proyecto, resultará más fácil colocar el objetivo en el lugar deseado, en

el extremo. Además por mayor seguridad se fijó el objetivo con una cinta autoadhesiva para asegurar que éste se mantuviese en todo el trabajo.

- Diafragma (número $F11$): Es el estrechamiento variable por medio de un sistema de láminas finas que, situado entre las lentes del objetivo, permite graduar la cantidad de luz que entra en la cámara. Suele ser un disco o sistema de aleras dispuesto en el objetivo de una cámara de forma tal, que restringe el paso de la luz, generalmente de forma ajustable. Por lo tanto, analizando el entorno donde se realizará la toma y atendiendo a la iluminación, se decidió utilizar una apertura del diafragma de $F11$. La decisión de tomar este valor, viene dado por las siguientes razones; sabiendo que el número f es inversamente proporcional a la apertura del diafragma, se nos presentan dos cuestiones:
 - A menor número f , mayor apertura del diafragma, lo cual provocará más distorsión.
 - A mayor número f , menor apertura del diafragma, provocando más difracción, es decir, que la imagen quedará poco nítida.

Por lo tanto, se eligió la primera opción, puesto que como ya se ha dicho, la distorsión se conoce en la calibración de la cámara y se puede corregir posteriormente.

Atendiendo a éstos parámetros elegidos, se tuvo que emplear una distancia de alejamiento de 700 mm.

Todo ello se utilizó para calcular los parámetros que regirán la toma fotográfica en el presente proyecto, siendo estos parámetros calculados a partir de los datos de partida anteriormente explicados y con la ayuda de una hoja Excel.

Primero se calculó el tamaño del pixel (resolución) a partir del tamaño del sensor de la cámara en píxeles y en milímetros (datos que se conocen por los parámetros técnicos de la cámara).

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Tam. Sensor (mm)}}{\text{Tam. Sensor (pixel)}} = 5.31 \text{ micras}$$

También se pudo obtener la escala de la imagen a partir del alejamiento y de la distancia focal.

$$E = \text{Alejamiento} / \text{focal} = 50$$

Y por otro lado, se fijó un recubrimiento longitudinal del 80%, obteniéndose un valor de base aérea o avance entre fotogramas de:

$$\text{Base} = b * \text{Escala} = 0.173 \text{ m}$$

$$B = \text{AnchoSensor} * \text{Avance (\%)} = 3.460 \text{ mm}$$

A continuación se muestra la imagen de la hoja de Excel con todos los cálculos realizados para obtener los parámetros del proyecto de toma fotográfica:

OLYMPUS E500			
Cámara apaisada			
	Ancho	Alto	
Tamaño sensor	3264	2448	Píxeles
	17,3	13	Milímetros
Círculo de confusión	0,015		Milímetros
Tamaño píxel imagen	5,300	5,310	Micras
Semidiagonal	10,820		Milímetros
	2040		Píxeles
Distancia focal	14		Milímetros
	2642		Píxeles
Alejamiento	0,7		Metros
Diafragma	11		
Hiperfocal	1,20		Metros
Distancia cercana y lejana	0,44	1,66	Metros
Fotobase	3,460		Milímetros
Tamaño píxel objeto	0,265		Milímetros
Tamaño sensor objeto	0,865	0,650	Metros
Relación Base/Alejamiento	1 /	4,0	
Error altimétrico	0,0008		Metros
Error planimétrico	0,0003		Metros
Recubrimiento total	0,692	0,325	Metros
Distancia avance	0,173		Metros
Separación pasadas	0,325		Metros
Dimensiones del objeto	1,65	1,15	Metros
Número de pasadas	1		Pasadas
Número de fotos/pasada	6		Fotos
Denominador de Escala	50		Adimensional
Recubrimiento Longitudinal	80		Porcentaje
Recubrimiento Transversal	50		Porcentaje

3.2 Calibración de la cámara

3.2.1 Introducción

Para la realización de este proyecto se utilizó una cámara no métrica, por lo que fue necesario realizar su calibración. Con la calibración se adquirieron los parámetros de orientación interna de la cámara, que permitieron reconstruir la forma del haz perspectivo, ya que estos valores no son proporcionados por su fabricante previamente.

Los parámetros de orientación interna de la cámara son la distancia focal calibrada, el punto principal de mejor simetría y la función de distorsión (de las que hay que diferenciar distorsión radial y tangencial).

- o La distancia focal calibrada

La distancia focal es la existente, dentro de un sistema óptico, entre el centro de proyección y el plano imagen o focal.

- o El punto principal de mejor simetría

El punto principal queda definido matemáticamente como la intersección del plano imagen con el eje principal perpendicular al mismo, también llamado plano focal. A partir de este punto del plano focal se trazan las distorsiones de forma simétrica.

- o La función de distorsión

Dentro de la función de distorsión habría que diferenciar entre:

- Distorsión radial

La distorsión radial constituye la mayor fuente de error en la mayoría de las cámaras. La distorsión se produce a lo largo de líneas concéntricas con centro el punto principal, por toda la imagen y se incrementa con la distancia a éste. El cálculo de la distorsión radial (Δr) se realizará por el método de aproximación a un polinomio de la distorsión radial de la lente. Este método consiste en aproximar la curva de distorsión a un polinomio de la forma:

$$\Delta r = a_1 r + a_2 r^3 + a_3 r^5 + a_4 r^7 \dots$$

Dónde:

- Δr es la distorsión radial de la lente
 - "r" es la distancia radial al punto principal
 - Los coeficientes a_1, a_2, a_3, a_4 , definen la forma de la curva, estos coeficientes se obtienen por mínimos cuadrados

- Distorsión tangencial

La distorsión tangencial está relacionada por la falta de alineamiento de los elementos de las lentes de la cámara. Esta distorsión en comparación con la distorsión radial es muy pequeña por lo que su determinación solo sería necesaria para trabajos que requieran gran precisión. Esta distorsión se compensa por la siguiente función:

$$\Delta x = P_1 \left(r^2 + 2(x' - x_p)^2 \right) + 2P_2(x' - x_p)(y' - y_p)$$

$$\Delta y = P_2 \left(r^2 + 2(y' - y_p)^2 \right) + 2P_1(x' - x_p)(y' - y_p)$$

- P_1, P_2 son los coeficientes de distorsión tangencial, nuestras incógnitas
- $\Delta x, \Delta y$ son los componentes de la distorsión, conocidas para distancia radial r
- x', y' son las coordenadas de cada marca en la plantilla
- x_p, y_p son las coordenadas del punto principal
- r es la distancia radial desde el punto principal

3.2.2 Proceso de calibración

Para la obtención de los parámetros internos de la cámara se pueden utilizar distintos métodos. Se optó por el método de plantilla, el cual aplica el proceso de calibración propio del software que se utilizará, este software es Image Master de Topcon.

El método de plantilla es uno de los métodos más empleados en fotogrametría digital de objeto cercano. Se realizaron varias tomas (Figura 10), con los mismos parámetros empleados en el proyecto, en diferentes posiciones e inclinaciones, para tener la intersección de los rayos, de manera que la plantilla quedase ajustada en el formato imagen. Esta plantilla está formada por una malla de puntos y dianas, cuyas coordenadas servirán para el ajuste en bloque.

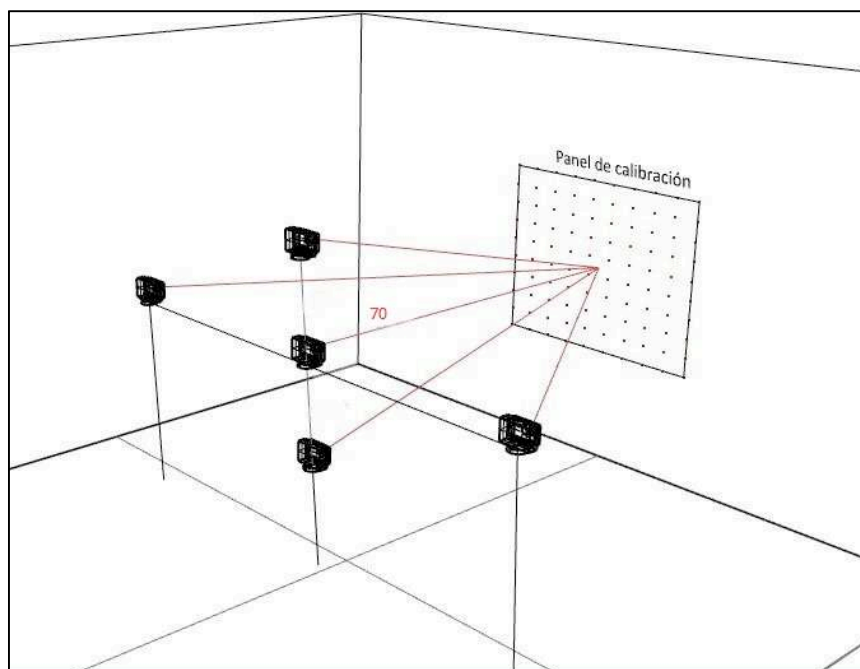


Figura 10. Tomas fotográficas para la calibración

Para la obtención de la calibración de la cámara se siguieron los siguientes pasos:

Lo primero que se necesitó fue un panel o plantilla.

Se colocó un plantilla de tamaño A1 (841x594mm). Esta plantilla tuvo esas dimensiones, porque se calculó con anterioridad por las condiciones de la cámara en el momento de la toma de vistas (la focal, el tamaño del sensor en el objeto y la distancia de la cámara al objeto). Este panel se colocó en una superficie lo más lisa posible, con el fin eliminar todo lo posible las ondulaciones.

El panel tiene una serie de marcas, 145 puntos y 5 cuadros de las cuales se conocían sus coordenadas aproximadas.

En segundo lugar se realizó la toma de fotografías, cinco concretamente, del panel desde diferentes posiciones. Esta toma de fotografías se realizó en las mismas condiciones en las que se captaron las imágenes del objeto (una distancia del panel de 70 cm, con una abertura de diafragma de $F11$ y con una distancia focal de 14 mm).

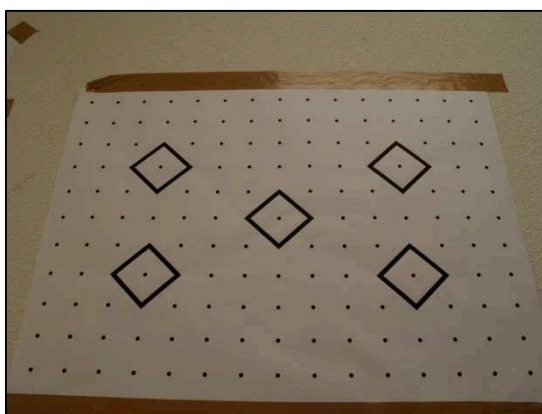


Figura 11. Toma Inferior

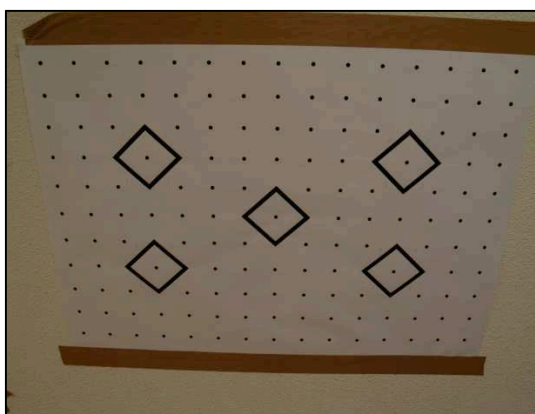


Figura 12. Toma superior

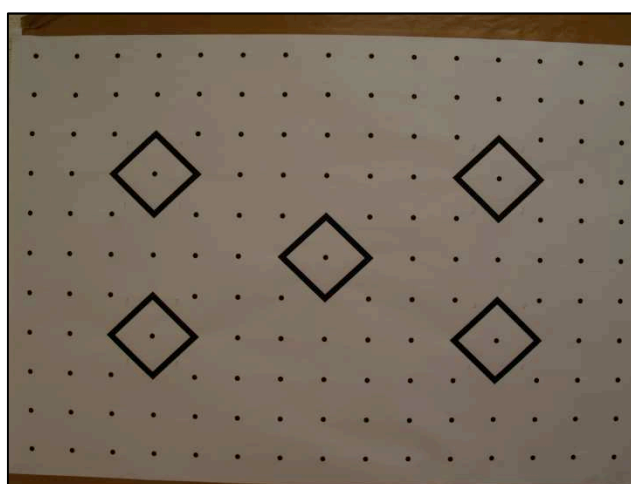


Figura 13. Toma frontal

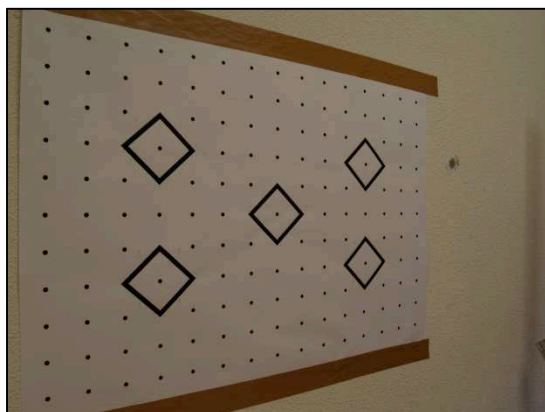


Figura 14. Toma Izquierda

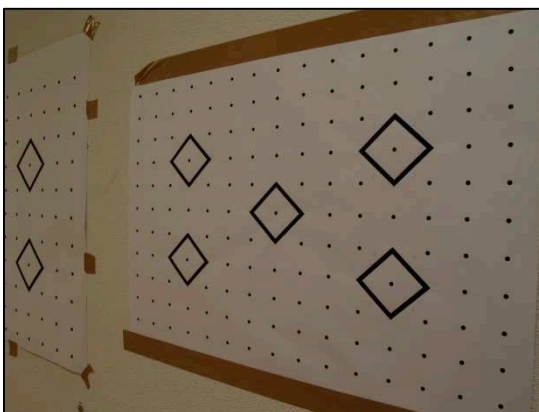


Figura 15. Toma derecha

El propio software identificó los 145 puntos (Figura 16) del panel de calibración en las cinco imágenes.

Se realizó una comprobación, dentro de las desviaciones que establece el software, de que los puntos son identificados de manera correcta.

El programa realizó un procedimiento de correlación automática, para la detección de puntos, es decir, buscó un punto de manera concreta, en una imagen. La precisión de estas coordenadas se obtuvo por el índice de correlación. De manera que se señaló al programa un índice de correlación tolerable, y así obtener las coordenadas de los puntos de calibración más veraces, intentando eliminar correlaciones erróneas. El índice de correlación puede oscilar entre valores de 1 a -1. De manera que si el valor obtenido es 1 las imágenes serán idénticas, si es 0 no se parece en nada y por último si el valor es -1 las imágenes serán contrarias.

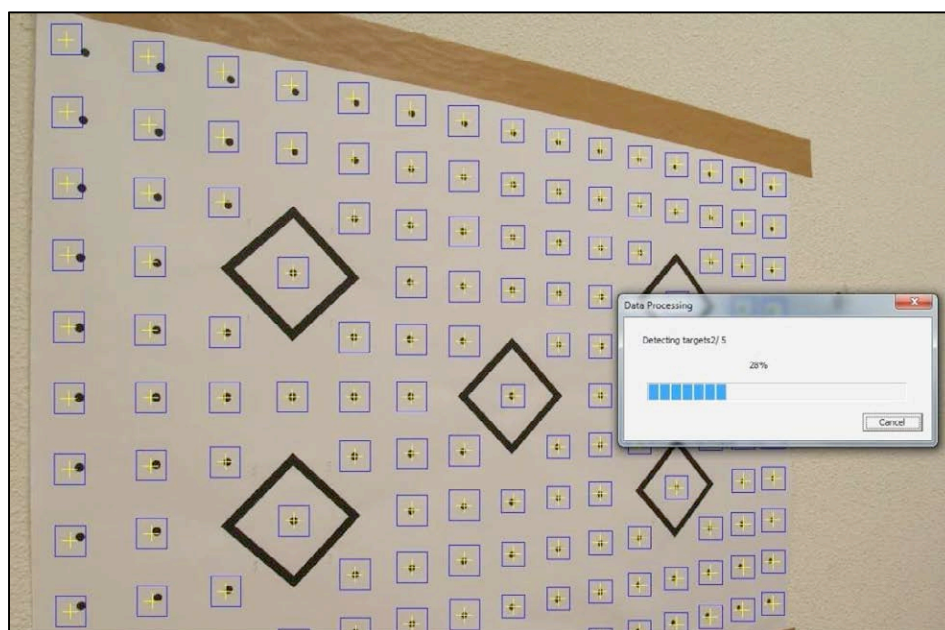


Figura 16. Proceso de calibración en Image Master

Una vez obtenidas las coordenadas el programa realizó los cálculos con las coordenadas medidas en cada imagen y las coordenadas que el software tiene de los puntos para obtener los parámetros de calibración proporcionándonos un fichero en el que se comprobó los resultados obtenidos.

En este fichero figura:

- el valor de las coordenadas obtenidas en sistema pixel y de sus residuos
 - donde revisaremos que en cada imagen el residuo total (en pixel) de las coordenadas no sea superior a 0.25 pixel
- las coordenadas en sistema terreno de los mismos puntos ya calculados con sus correspondientes residuos
- las coordenadas del punto principal de mejor simetría de la cámara
- la focal
- los valores obtenidos de la distorsión radial, que viene dada de la forma

$$d_x = k_1(x' - x_p)r^2 + k_2(x' - x_p)r^2$$

$$d_y = k_1(y' - y_p)r^2 + k_2(y' - y_p)r^2$$

- k_1 y k_2 son los coeficientes de distorsión radial, nuestras incógnitas
- x', y' son las coordenadas de cada marca de la plantilla
- d_x, d_y son las componentes de la distorsión conocidas para una distancia radial r
- x_p, y_p son coordenadas del punto principal
- r es la distancia radial desde el punto principal
- los valores obtenidos de la distorsión tangencial

$$\Delta x = P_1(r^2 + 2(x' - x_p)^2) + 2P_2(x' - x_p)(y' - y_p)$$

$$\Delta y = P_2(r^2 + 2(y' - y_p)^2) + 2P_1(x' - x_p)(y' - y_p)$$

- P_1, P_2 son los coeficientes de distorsión tangencial, nuestras incógnitas
- $\Delta x, \Delta y$ son los componentes de la distorsión, conocidas para distancia radial r
- x', y' son las coordenadas de cada marca en la plantilla
- x_p, y_p son las coordenadas del punto principal
- r es la distancia radial desde el punto principal

Estos modelos se aplicaron a las coordenadas obtenidas de los puntos del panel de calibración, para corregir en cada una de ellas las distorsiones radial y tangencial.

3.2.3 Resultados de la calibración

Tras la realización de los cálculos, el programa ofrece una pantalla en la que se puede ver los residuos obtenidos del proceso de calibración. El programa impone como tolerancia 0,25 píxeles para comprobar si la calibración es conforme o no.

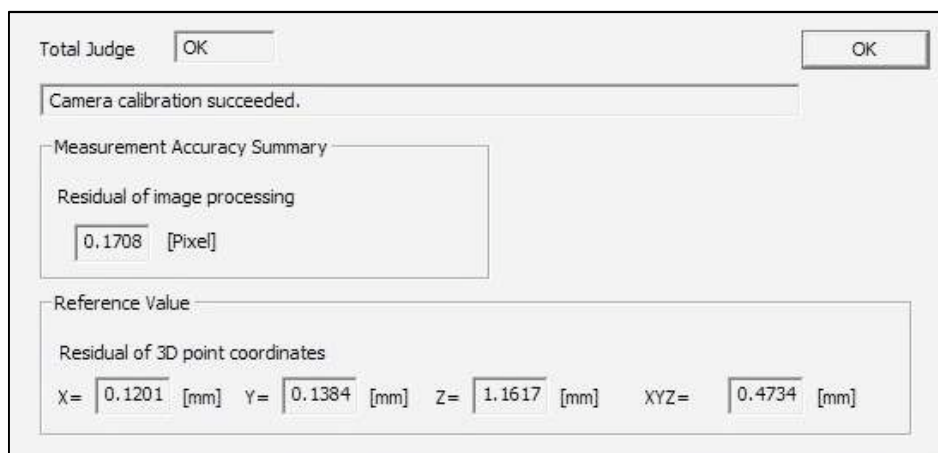


Figura 17. Pantalla resultados Image Master

Por último, el programa generó un informe donde aparecen los siguientes datos de la calibración:

- En la primera parte del fichero se puede observar las coordenadas del patrón de correlación que el programa ya tiene establecidas.

Control Point Coordinates			
PointName	X[m]	Y[m]	Z[m]
1	0.15000	-0.14118	0.00000
2	0.55000	-0.14118	0.00000
3	0.15000	-0.32941	0.00000
4	0.55000	-0.32941	0.00000
5	0.35000	-0.23529	0.00000
-11	0.19441	-0.14118	0.00000
-21	0.10559	-0.14118	0.00000
-31	0.15000	-0.09902	0.00000
-41	0.15000	-0.18333	0.00000
-12	0.59441	-0.14118	0.00000
-22	0.50559	-0.14118	0.00000
-32	0.55000	-0.09902	0.00000
-42	0.55000	-0.18333	0.00000
-13	0.19441	-0.32941	0.00000
-23	0.10559	-0.32941	0.00000
-33	0.15000	-0.28726	0.00000
-43	0.15000	-0.37157	0.00000
-14	0.59441	-0.32941	0.00000
-24	0.50559	-0.32941	0.00000
-34	0.55000	-0.28726	0.00000
-44	0.55000	-0.37157	0.00000
-15	0.39441	-0.23529	0.00000
-25	0.30559	-0.23529	0.00000
-35	0.35000	-0.19314	0.00000
-45	0.35000	-0.27745	0.00000
101	0.00000	0.00000	0.00000
102	0.05000	0.00000	0.00000
103	0.10000	0.00000	0.00000
104	0.15000	0.00000	0.00000
105	0.20000	0.00000	0.00000
106	0.25000	0.00000	0.00000
107	0.30000	0.00000	0.00000
108	0.35000	0.00000	0.00000
109	0.40000	0.00000	0.00000
110	0.45000	0.00000	0.00000
111	0.50000	0.00000	0.00000
112	0.55000	0.00000	0.00000
113	0.60000	0.00000	0.00000
114	0.65000	0.00000	0.00000
115	0.70000	0.00000	0.00000
116	0.00000	-0.04706	0.00000
117	0.05000	-0.04706	0.00000
118	0.10000	-0.04706	0.00000
119	0.15000	-0.04706	0.00000
120	0.20000	-0.04706	0.00000
121	0.25000	-0.04706	0.00000
122	0.30000	-0.04706	0.00000
123	0.35000	-0.04706	0.00000
124	0.40000	-0.04706	0.00000
125	0.45000	-0.04706	0.00000
126	0.50000	-0.04706	0.00000
127	0.55000	-0.04706	0.00000
128	0.60000	-0.04706	0.00000
129	0.65000	-0.04706	0.00000
130	0.70000	-0.04706	0.00000
131	0.00000	-0.09412	0.00000
132	0.05000	-0.09412	0.00000
133	0.10000	-0.09412	0.00000
134	0.20000	-0.09412	0.00000
135	0.25000	-0.09412	0.00000
136	0.30000	-0.09412	0.00000
137	0.35000	-0.09412	0.00000
138	0.40000	-0.09412	0.00000
139	0.45000	-0.09412	0.00000
140	0.50000	-0.09412	0.00000
141	0.60000	-0.09412	0.00000
142	0.65000	-0.09412	0.00000
143	0.70000	-0.09412	0.00000
144	0.00000	-0.14118	0.00000
145	0.05000	-0.14118	0.00000
-			
-			
-			

Figura 18. Coordenadas en metros de cada punto en el panel

- Seguidamente se puede ver las coordenadas medidas de los puntos anteriores en cada imagen (en píxeles).

[Image Coordinates]					
Image 1					
Image Name		Front			
Image Coordinates and Residuals					
PointName	x[pixel]	y[pixel]	dx[pixel]	dy[pixel]	
1	755.410	824.230	-0.333	0.235	
2	2528.990	849.250	0.296	0.077	
3	742.740	1659.640	-0.140	-0.102	
4	2514.770	1684.080	0.048	-0.015	
5	1635.100	1254.990	-0.012	-0.100	
102	355.780	217.850	0.234	-0.083	
103	564.740	215.010	0.293	-0.101	
104	777.940	213.880	0.186	-0.176	
105	992.350	211.140	0.068	-0.036	
106	1210.520	211.530	0.088	-0.035	
107	1429.750	211.030	0.124	-0.252	
108	1650.450	212.520	0.045	-0.337	
109	1871.470	216.940	0.042	-0.196	
110	2091.390	223.010	0.169	0.080	
111	2310.040	228.440	0.178	0.213	
112	2524.770	237.280	-0.072	-0.093	
113	2739.070	244.030	-0.085	0.013	
114	2948.450	253.560	0.088	0.037	
115	3156.490	261.750	0.494	0.495	
116	135.230	416.210	0.438	-0.123	
117	348.270	418.300	0.219	-0.000	
118	556.140	415.460	0.135	-0.004	
119	770.030	414.740	0.037	0.071	
120	985.290	412.660	-0.025	0.213	
121	1204.940	414.290	0.019	-0.060	
122	1425.610	415.130	0.071	-0.172	
123	1647.470	416.020	0.099	-0.468	
124	1869.990	419.160	0.039	-0.183	
125	2091.310	425.130	0.376	0.402	
126	2311.360	430.120	0.449	0.477	
127	2526.670	438.640	0.086	0.036	
128	2742.390	444.500	-0.014	0.053	
129	2952.410	453.150	0.373	0.290	
130	3159.590	461.510	0.689	0.448	
131	124.680	616.910	0.484	-0.059	
132	338.270	619.320	0.145	0.012	
133	549.090	619.050	-0.106	0.075	
134	978.950	617.700	-0.168	0.309	
135	1199.740	619.940	-0.088	0.071	
136	1421.530	621.580	0.029	0.000	
137	1644.460	623.860	0.045	-0.499	
138	1867.840	626.290	-0.196	-0.634	
139	2090.870	630.500	0.458	0.495	
140	2311.720	635.610	0.657	0.577	
141	2743.080	648.980	0.026	0.003	
142	2952.370	656.750	-0.044	0.037	
143	3158.890	664.250	0.165	0.088	
144	118.190	820.820	0.448	-0.030	
145	328.150	822.290	0.112	-0.057	
146	1195.290	828.020	-0.118	0.202	
147	1417.540	830.030	-0.042	0.113	
148	1641.390	832.920	0.091	-0.204	
149	1865.400	835.940	-0.232	-0.671	
150	2088.650	839.880	-0.385	-0.301	
151	2950.430	861.710	-0.088	0.027	
152	3156.520	867.770	0.087	0.112	
153	114.360	1026.000	0.305	0.029	
154	321.230	1027.890	0.115	0.080	
155	534.620	1030.430	-0.264	0.065	
156	968.650	1034.540	-0.526	0.182	
157	1190.640	1037.690	-0.408	0.124	
158	1413.790	1040.340	-0.111	0.136	
159	1862.960	1046.280	0.031	0.027	
160	2086.920	1049.950	-0.102	-0.064	
161	2308.690	1053.790	0.040	-0.039	
162	2741.610	1062.220	-0.066	-0.073	
-					
-					
-					

Figura 19. Coordenadas medidas en el panel

- o Como se puede ver en la siguiente imagen del fichero, muestra las coordenadas ajustadas y los residuos en las cinco imágenes.

[Calculated Coordinates]						
Calculated Coordinates and Residuals						
PointName	X[m]	Y[m]	Z[m]	DX[m]	DY[m]	DZ[m]
1	0.1500951	-0.1411114	-0.0000591	0.0000951	0.0000656	-0.0000591
2	0.5499063	-0.1410537	0.0009990	-0.0000937	0.0001233	0.0009990
3	0.1500539	-0.3294857	0.0016077	0.0000539	-0.0000727	0.0016077
4	0.5499428	-0.3294119	0.0007900	-0.0000572	0.0000011	0.0007900
5	0.3499432	-0.2352222	-0.0014143	-0.0000568	0.0000728	-0.0014143
102	0.0503019	0.0000655	-0.0016638	0.0003019	0.0000655	-0.0016638
103	0.1002126	0.0000124	-0.0013234	0.0002126	0.0000124	-0.0013234
104	0.1501162	0.0000406	-0.0019842	0.0001162	0.0000406	-0.0019842
105	0.2000354	0.0001489	-0.0014953	0.0000354	0.0001489	-0.0014953
106	0.2500205	0.0001189	-0.0018482	0.0000205	0.0001189	-0.0018482
107	0.2999993	0.0001123	-0.0007678	-0.0000007	0.0001123	-0.0007678
108	0.3499454	0.0000931	-0.0000560	-0.0000546	0.0000931	-0.0000560
109	0.3999226	0.0000872	-0.0003836	-0.0000774	0.0000872	-0.0003836
110	0.4499526	0.0001149	-0.0010041	-0.0000474	0.0001149	-0.0010041
111	0.4999299	0.0001390	-0.0003231	-0.0000701	0.0001390	-0.0003231
112	0.5498832	0.0000969	-0.0007169	-0.0001168	0.0000969	-0.0007169
113	0.5998127	0.0000777	0.0003890	-0.0001873	0.0000777	0.0003890
114	0.6497816	0.0000461	0.0000209	-0.0002184	0.0000461	0.0000209
115	0.6998615	0.0001050	0.0000323	-0.0001385	0.0001050	0.0000323
116	0.0003757	-0.0468060	0.0009212	0.0003757	0.0002530	0.0009212
117	0.0502748	-0.0469651	-0.0018366	0.0002748	0.0000939	-0.0018366
118	0.1001713	-0.0469960	-0.0009399	0.0001713	0.0000630	-0.0009399
119	0.1500781	-0.0469718	-0.0016677	0.0000781	0.0000872	-0.0016677
120	0.2000286	-0.0468938	-0.0010345	0.0000286	0.0001652	-0.0010345
121	0.2500119	-0.0469370	-0.0018396	0.0000119	0.0001220	-0.0018396
122	0.3000055	-0.0469668	-0.0013055	0.0000055	0.0000922	-0.0013055
123	0.3499432	-0.0469854	0.0002769	-0.0000568	0.0000736	0.0002769
124	0.3999008	-0.0469555	0.0005589	-0.0000992	0.0001035	0.0005589
125	0.4499444	-0.0469182	-0.0006143	-0.0000556	0.0001408	-0.0006143
126	0.4999250	-0.0468778	0.0002188	-0.0000750	0.0001812	0.0002188
127	0.5499012	-0.0469041	-0.0004289	-0.0000988	0.0001549	-0.0004289
128	0.5998414	-0.0469153	0.0011689	-0.0001586	0.0001437	0.0011689
129	0.6498214	-0.0469799	0.0007902	-0.0001786	0.0000791	0.0007902
130	0.6998634	-0.0469800	0.0004954	-0.0001366	0.0000790	0.0004954
131	0.0003659	-0.0938846	0.0024677	0.0003659	0.0002334	0.0024677
132	0.0502354	-0.0940369	-0.0004688	0.0002354	0.0000811	-0.0004688
133	0.1001485	-0.0940669	-0.0010076	0.0001485	0.0000511	-0.0010076
134	0.2000496	-0.0940014	-0.0006736	0.0000496	0.0001166	-0.0006736
135	0.2500028	-0.0940210	-0.0018688	0.0000028	0.0000970	-0.0018688
136	0.2999969	-0.0940495	-0.0016115	-0.0000031	0.0000685	-0.0016115
137	0.3499668	-0.0940997	-0.0004234	-0.0000332	0.0000183	-0.0004234
138	0.3998750	-0.0940853	0.0010389	-0.0001250	0.0000327	0.0010389
139	0.4499302	-0.0939974	0.0000961	-0.0000698	0.0001206	0.0000961
140	0.4999350	-0.0939614	0.0004375	-0.0000650	0.0001566	0.0004375
141	0.5498535	-0.0939905	0.0009797	-0.0001465	0.0001275	0.0009797
142	0.6498499	-0.0940350	0.0003757	-0.0001501	0.0000830	0.0003757
143	0.6998415	-0.0940732	0.0000252	-0.0001585	0.0000448	0.0000252
144	0.0003160	-0.1409703	0.0026600	0.0003160	0.0002067	0.0026600
145	0.0502447	-0.1410715	0.0015654	0.0002447	0.0001055	0.0015654
146	0.2500060	-0.1411007	-0.0020163	0.0000060	0.0000763	-0.0020163
147	0.2999924	-0.1411197	-0.0014564	-0.0000076	0.0000573	-0.0014564
148	0.3499563	-0.1411327	-0.0008635	-0.0000437	0.0000443	-0.0008635
149	0.3998586	-0.1411483	0.0009291	-0.0001414	0.0000287	0.0009291
150	0.4498484	-0.1411350	0.0008086	-0.0001516	0.0000420	0.0008086
151	0.6498692	-0.1410897	-0.0005505	-0.0001308	0.0000873	-0.0005505
152	0.6998651	-0.1411349	-0.0009260	-0.0001349	0.0000421	-0.0009260
153	0.0002527	-0.1880748	0.0022267	0.0002527	0.0001612	0.0022267
154	0.0501867	-0.1881322	0.0025581	0.0001867	0.0001038	0.0025581
155	0.1001151	-0.1881936	0.0011414	0.0001151	0.0000424	0.0011414
156	0.2000449	-0.1881241	-0.0001597	0.0000449	0.0001119	-0.0001597
157	0.2499638	-0.1881759	-0.0016373	-0.0000362	0.0000601	-0.0016373
158	0.2999615	-0.1881731	-0.0013593	-0.0000385	0.0000629	-0.0013593
159	0.3998653	-0.1881492	0.0006715	-0.0001347	0.0000868	0.0006715
160	0.4498439	-0.1881443	0.0011238	-0.0001561	0.0000917	0.0011238
161	0.4998637	-0.1881161	0.0010555	-0.0001363	0.0001199	0.0010555
162	0.5998589	-0.1881158	0.0010912	-0.0001411	0.0001202	0.0010912
163	0.6498776	-0.1881735	0.0005032	-0.0001224	0.0000625	0.0005032
164	0.6998911	-0.1882061	-0.0000196	-0.0001089	0.0000299	-0.0000196

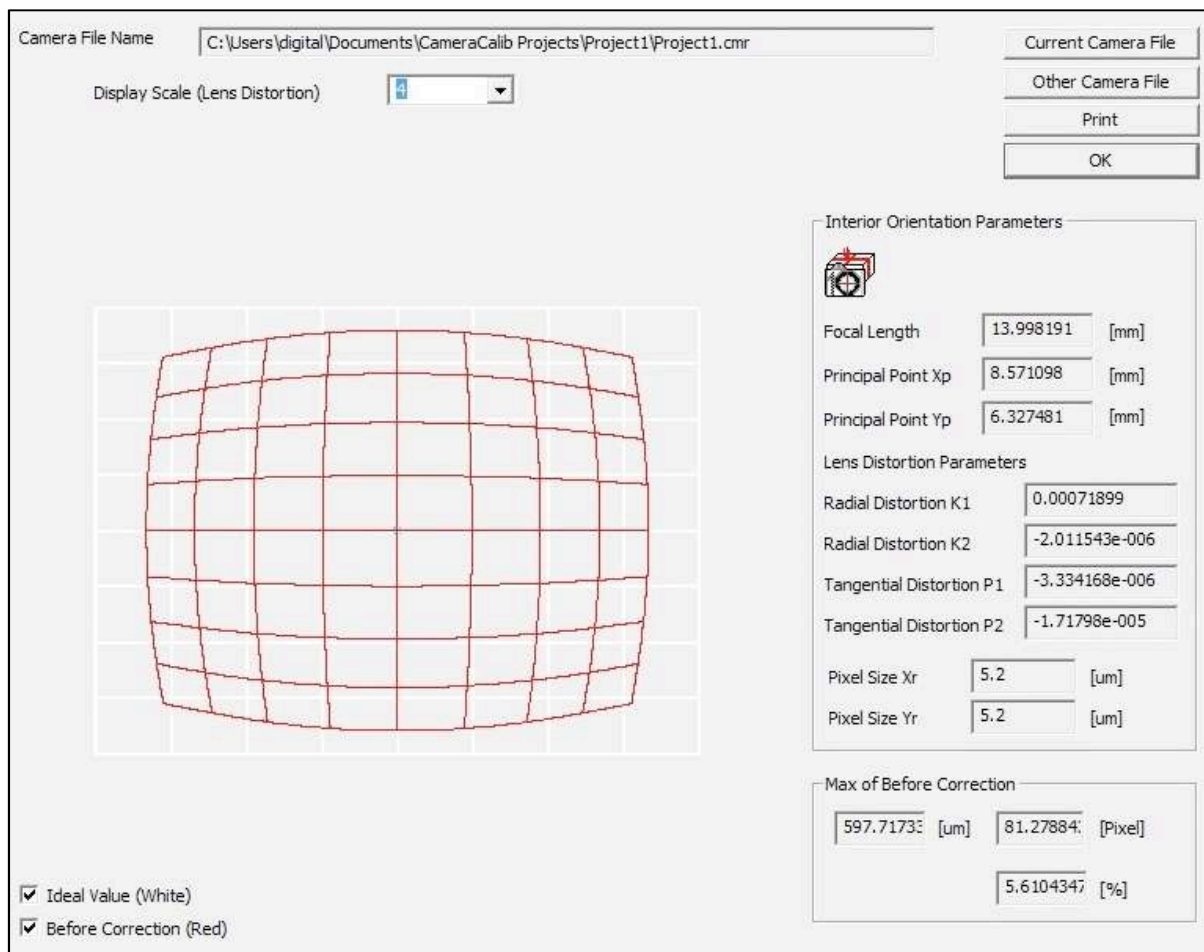
Figura 20. Coordenadas ajustadas y los residuos en las cinco imágenes

- En el fichero también aparecen los datos, como se observa en la imagen:
 - la desviación estándar
 - residuos máximos
 - número de coordenadas calculadas
 - números de punto de control

Standard Deviation [m]	0.0001201	0.0001384	0.0011617
Maximum Residuals [m]	0.0003823	-0.0004548	0.0026600
Number of Calculated Coordinates		145	
Number of Control Points		145	

Figura 21. Desviación estándar, residuos y puntos de control

- Finalmente mostró los parámetros internos de la cámara, los datos que contiene son:
 - Distancia focal calibrada
 - Posición del punto principal de mejor simetría de la cámara
 - Parámetros de distorsión (k_1, k_2 distorsión radial y p_1, p_2 distorsión tangencial)
 - Resolución de la cámara



The screenshot displays a camera calibration software window. At the top, the 'Camera File Name' is set to 'C:\Users\digital\Documents\CameraCalib Projects\Project1\Project1.cmr'. Below this, there is a 'Display Scale (Lens Distortion)' dropdown menu. The main area features a 3D grid representing the camera's field of view. To the right, the 'Interior Orientation Parameters' section is expanded, showing the following values:

Interior Orientation Parameters	
Focal Length	13.998191 [mm]
Principal Point Xp	8.571098 [mm]
Principal Point Yp	6.327481 [mm]
Lens Distortion Parameters	
Radial Distortion K1	0.00071899
Radial Distortion K2	-2.011543e-006
Tangential Distortion P1	-3.334168e-006
Tangential Distortion P2	-1.71798e-005
Pixel Size Xr	5.2 [um]
Pixel Size Yr	5.2 [um]

Below the parameters, the 'Max of Before Correction' section shows the following values:

Max of Before Correction	
597.71733 [um]	81.27884 [Pixel]
	5.6104347 [%]

At the bottom left, there are two checked checkboxes: 'Ideal Value (White)' and 'Before Correction (Red)'.

Figura 22. Parámetros internos de la cámara

3.3 Observación, cálculo y ajuste de la red

3.3.1 Material utilizado

Para la realización del apoyo por topografía clásica se empleó el programa de medición Axyz 1.4 de Leica Geosystems AG, por el que se obtuvo coordenadas de puntos de control en un sistema local, para realizar la orientación en el programa Image Master de Topcon.

Los sistemas de medida que utiliza Leica Axyz 1.4 son por polares y por triangulación, el primer método se usa principalmente para el trabajo con una estación total y el segundo para más de una estación para realizar intersecciones angulares. Nosotros empleamos el segundo método, por intersección angular de visuales (aunque el programa combina ambos métodos al realizar medidas con más de una estación).

Para nuestro trabajo se empleó el siguiente hardware:

- Estación total Leica WILD TC-2002 (Figura 23)
 - Aumentos del antejo: 30x
 - Precisión de estabilización del compensador: 0.3"/0.1 mgon
 - Precisión Hz y V: 0.5"/0.15 mgon
 - Sensibilidad nivel de burbuja: 4'/2 mm
 - Sensibilidad nivel electrónico: 2"
 - Precisión referida a mediciones a prismas estándar: 1 mm + 2 ppm



Figura 23. Estación TC2002

- Estación total Leica WILD TC-2000 (Figura 24)
 - Aumentos del antejo: 30x
 - Precisión de estabilización del compensador: 0.3"/0.1 mgon
 - Precisión Hz y V: 0.5"/0.15 mgon
 - Sensibilidad nivel de burbuja: 4'/2 mm
 - Sensibilidad nivel electrónico: 2"



Figura 24. Estación TC2000

- Barra calibrada Leica (Figura 25)
 - Como sólo se realizaron medidas angulares, necesitamos escalar nuestro sistema de referencia, por lo que se utilizó una barra de escala calibrada. Se observaron a los dos puntos de la barra de calibración, ya que la distancia entre esos dos puntos se conoce con exactitud del orden de 0,0 mm.

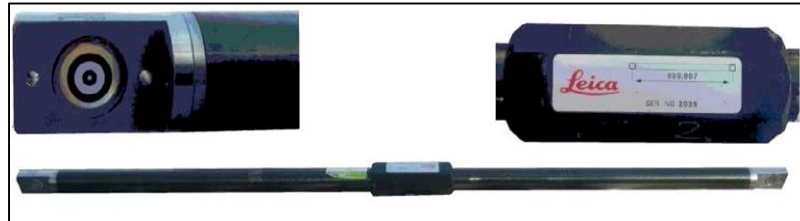


Figura 25. Barra calibrada

- Trípode Leica de uso industrial (Figura 26)



Figura 26. Trípode Leica de uso industrial

- Computadora de datos Leica Link-8 (Figura 27)
 - Se trata de uno de los elementos más importantes del hardware, la computadora de datos es la que conduce el flujo de datos entre la estación y el ordenador (con el programa).

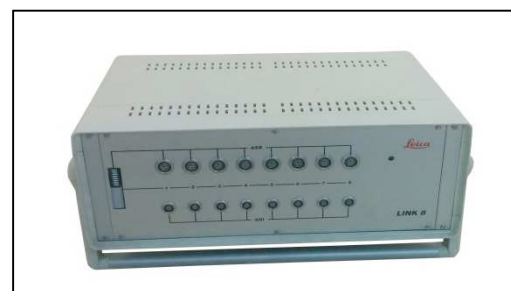


Figura 27. Computadora de datos

- Transformador para alimentación de estaciones.
- Ordenador personal (CPU, pantalla, ratón, teclado y licencia física programa Leica Axyz 1.4).

3.3.2 Metodología empleada y apoyo fotogramétrico

La realización del apoyo por topografía clásica, se realizó en las mismas instalaciones del Museo Naval de Madrid, al mismo tiempo que se ejecutó la captura de fotografías. Para el apoyo fotogramétrico se empleó el método intersección angular de visuales, con el programa Leica Axyz. Se calcularon los resultados instantáneamente, comprobando en el momento la bondad de las observaciones medidas.

Leica Axyz 1.4 utiliza como unidades de medida angulares (grados) y de posición (mm). Antes de empezar con las mediciones, se fijó la tolerancia que se adquirió en el anteproyecto, para que si se sobrepasara ese valor el programa nos avisara.

El software establece el sistema de referencia base de la siguiente manera:

En la intersección del eje vertical (a partir del cual gira la alidada) y del eje horizontal o de muñones (a partir del cual gira el ocular) se define el punto de origen $O (0, 0, 0)$.

El eje Z se define en dirección del eje vertical, por lo que es necesario tener cuidado con la nivelación de la estación.

El eje X se genera perpendicular al eje Z en dirección a la segunda estación total.

El eje Y se genera perpendicularmente al plano generado por los dos ejes anteriores.

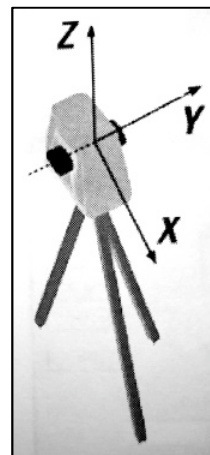


Figura 28. Esquema coordenadas

Pero antes de que el programa pudiera calcular los datos de las intersecciones, se procedió a realizar la orientación de las estaciones (Figura 30). Primero se consiguió unas coordenadas aproximadas y después se realizó una red topográfica, para el ajuste de las coordenadas por mínimos cuadrados. Siguiendo los siguientes pasos:

1. Se realizó una autocolimación aproximada
2. Se observó a la barra de escala desde ambas estaciones

Con estos datos el programa pudo obtener coordenadas aproximadas de las estaciones, mediante el método del Hansen.

Por el método de Hansen (Figura 29), las observaciones se realizaron desde los puntos desconocidos, obteniendo los ángulos 1, 2, 3, y 4. Los ángulos 5 y 6 fueron obtenidos por resolución de triángulos. Por lo que los ángulos desconocidos son A y C. El programa fijó la distancia de la barra de escala que siempre va a ser constante.

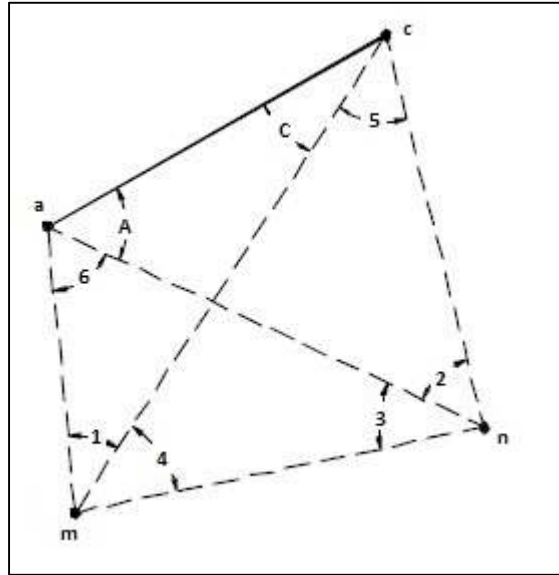


Figura 29. Grafico método de Hansen

De manera que:

$$\frac{AC}{\text{seno } 1} = \frac{AM}{\text{seno } C} \rightarrow AM = \frac{AC * \text{seno } C}{\text{seno } 1} \quad \frac{AM}{\text{seno } 3} = \frac{MN}{\text{seno } 6} \rightarrow MN = \frac{AC * \text{seno } C * \text{seno } 6}{\text{seno } 1 * \text{seno } 3}$$

$$\frac{NC}{\text{seno } A} = \frac{AC}{\text{seno } 4} \rightarrow AC = \frac{NC * \text{seno } 4}{\text{seno } A}$$

$$\frac{MN}{\text{seno } 5} = \frac{NC}{\text{seno } 2} \rightarrow NC = \frac{MN * \text{seno } 2}{\text{seno } 5}$$

$$\frac{\text{seno } C}{\text{seno } A} = \frac{\text{seno } 1 * \text{seno } 3 * \text{seno } 5}{\text{seno } 2 * \text{seno } 4 * \text{seno } 6}$$

Teniendo en cuenta:

$$5 = 200 - (2 + 3 + 4) \rightarrow \text{seno } 5 = \text{seno } (2 + 3 + 4) \quad 6 = 200 - (1 + 2 + 3) \rightarrow \text{seno } 6 = \text{seno } (1 + 2 + 3)$$

$$\frac{\text{seno } C}{\text{seno } A} = \frac{\text{seno } 1 * \text{seno } 3 * \text{seno } (2 + 3 + 4)}{\text{seno } 2 * \text{seno } 4 * \text{seno } (1 + 2 + 3)} = \tan \gamma$$

Ya que el ángulo en el vértice intersección de las visuales MC y NA es mismo, se obtiene:

$$A + C = 2 + 3$$

Este proceso se puede resolver de distintos métodos, por Pothénor, el método de resolución de Mayer, solución analítica, por aplicaciones homotéticas y resolución por Collins. Esto en lo relacionado con la planimetría.

La altimetría se calculó con las coordenadas planimétricas ya resueltas, obteniendo las distancias. Como el programa contaba con tres soluciones para cada punto, utilizó una resolución por MM.CC.

Forma general de la relación de observación:

$$\Delta H_E^V = (\Delta H_E^V)^0 + v_i \quad H_V - H_g = (\Delta H_E^V)^0 + v_i$$

El programa tenía tantas ecuaciones como observaciones de desnivel se realizaron, en el caso del problema de Hansen es un sistema de 6 ecuaciones con 2 incógnitas, puesto que cada observación tuvo una precisión distinta, fue conveniente ponderar las observaciones, de manera inversamente proporcional a la desviación típica “a priori” de cada desnivel.

$$\begin{cases} H_A - H_M = (\Delta H_M^A)^0 + v_1 \\ H_C - H_M = (\Delta H_M^C)^0 + v_2 \\ H_N - H_M = (\Delta H_M^N)^0 + v_3 \\ H_A - H_N = (\Delta H_N^A)^0 + v_4 \\ H_C - H_N = (\Delta H_N^C)^0 + v_5 \\ H_M - H_N = (\Delta H_N^M)^0 + v_6 \end{cases}$$

Con este método se obtuvo las coordenadas de los dos puntos desconocidos, como hemos visto anteriormente.

3. Se observó a puntos comunes, en nuestro caso dianas de puntería

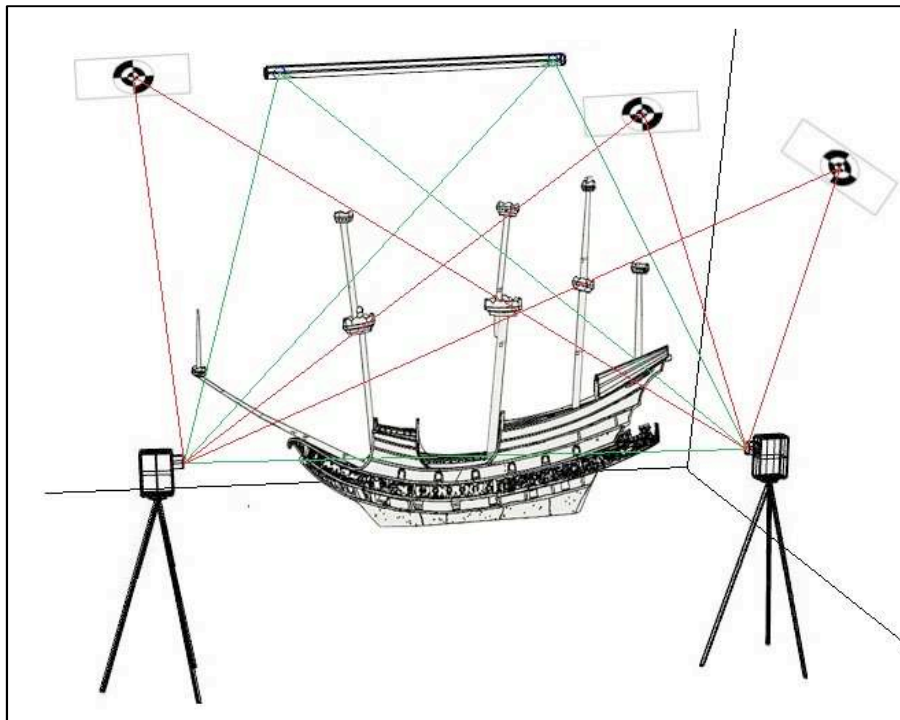


Figura 30. Orientación estaciones

Con las coordenadas aproximadas y los puntos comunes observados se calculó el ajuste de una red por mínimos cuadrados. En el ajuste entraron todas las observaciones angulares menos las visuales de auto colimación aproximada. Por lo que el programa utilizó exclusivamente las ecuaciones de dirección:

$$\frac{r^{cc}}{(D_E^V)^2} (\Delta N_E^V dE_V - \Delta N_E^V dE_E + \Delta E_E^V dN_E - \Delta E_E^V dN_V) + (\theta_E^V)' - (\Sigma_E + d\Sigma_E + LH_E^V) = v_i$$

Leica Axyz 1.4 realizó un cálculo por MM.CC y nos dio el error medio cuadrático de la red (Figura 33). El software generó un informe (Figura 31), donde constan todos los cálculos relacionados con las estaciones (posición en el sistema local y orientación), de la barra de escala (posición en el sistema local, error de puntería, visuales desde las estaciones...) y de los puntos que utilizó para el cálculo de la red (posición en el sistema local, error de puntería, visuales desde las estaciones...).

De manera que si algún punto tuvo error de puntería, el programa avisó y se revisó el informe para elegir los puntos que se remidieron o eliminaron del cálculo de la red. Se repitió este proceso hasta que llegamos a la tolerancia que se estableció en el anteproyecto.

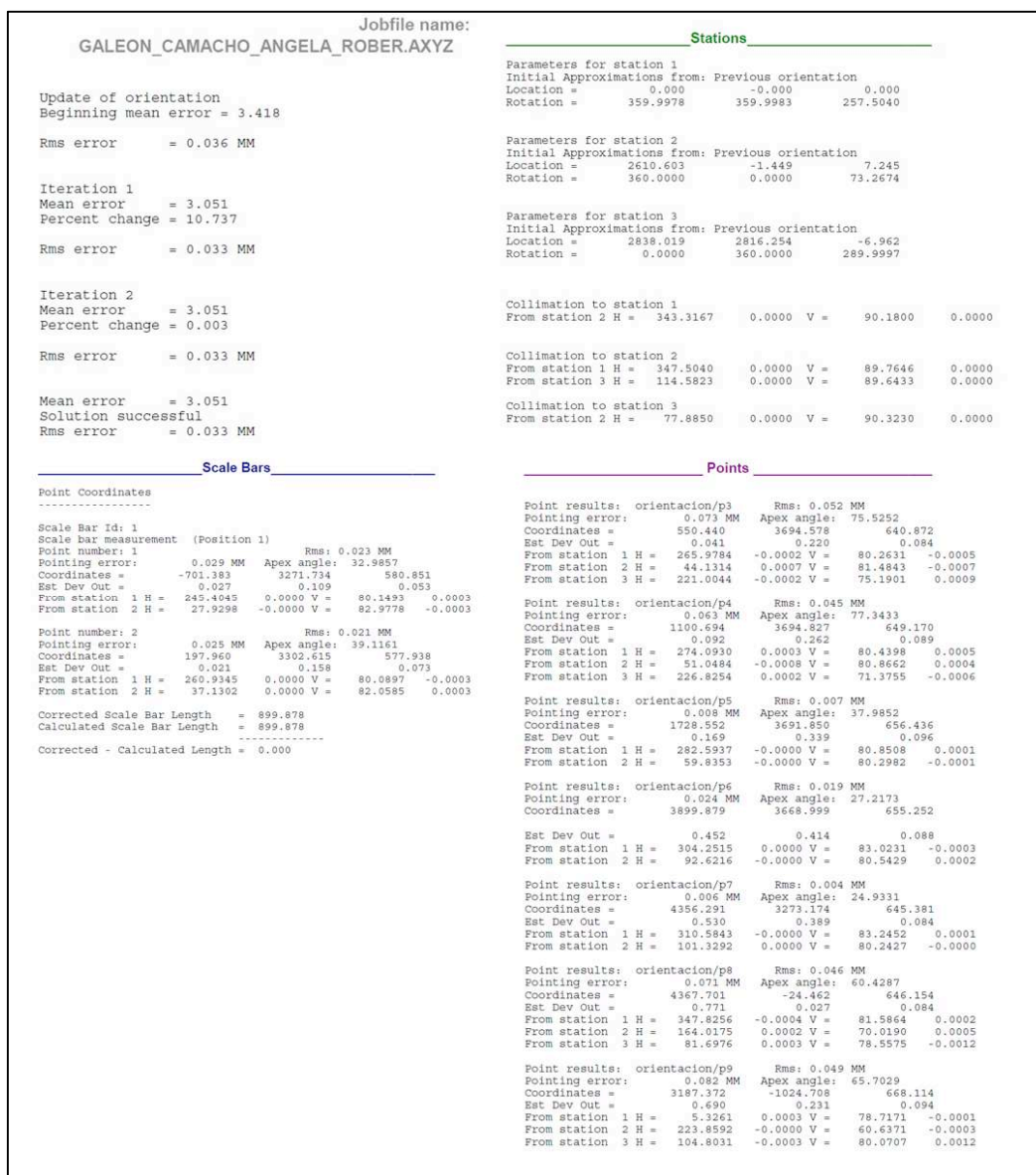


Figura 31. Informe Leica Axyz 1.4

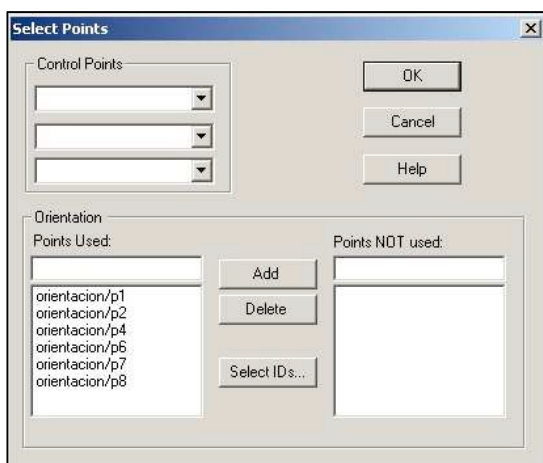


Figura 32. Pantalla selección puntos

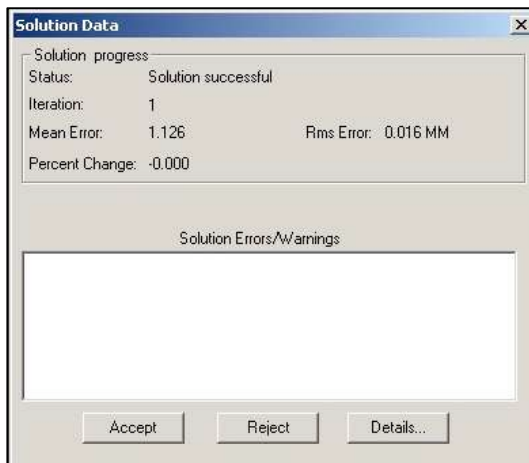


Figura 33. Pantalla resultados de la red

Con las estaciones orientadas se realizó las mediciones de los puntos de apoyo sobre el barco y las pirámides, que sirvieron de enlace en la primera pasada, puesto que se veían desde diferentes tomas del barco. Estas mediciones se realizaron por el método de intersección de visuales, de manera que se obtuvieron los resultados de las coordenadas y sus precisiones en el mismo instante que se realizaron las mediciones.

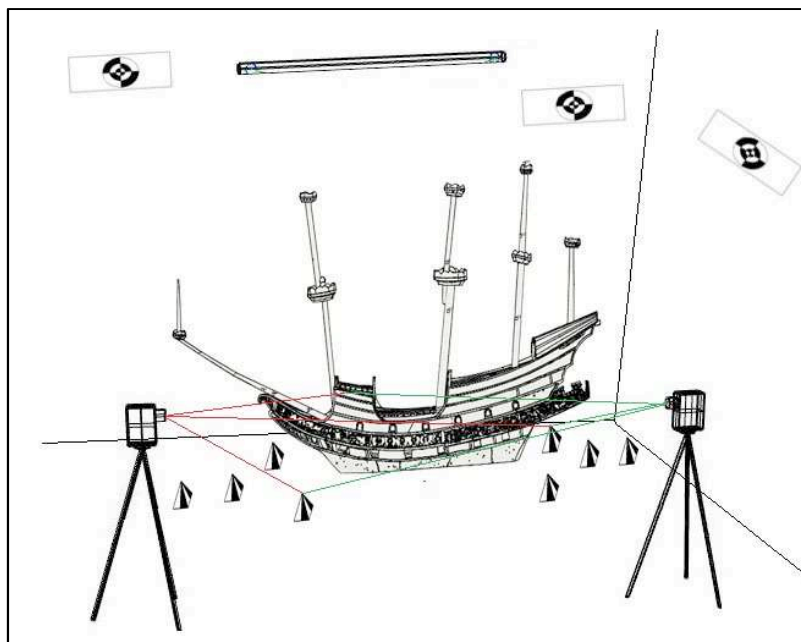


Figura 34. Toma de datos

Anteriormente se configuró la tolerancia de las intersecciones de visuales, imponiendo en el programa el límite de la precisión calculada en el anteproyecto para el cálculo del apoyo, en nuestro caso esa tolerancia fue de 80 micras. Con este procedimiento se pudo comprobar la bondad de las observaciones medidas, los puntos situados por debajo de la tolerancia son dados en color verde y los que la superan en color rojo.

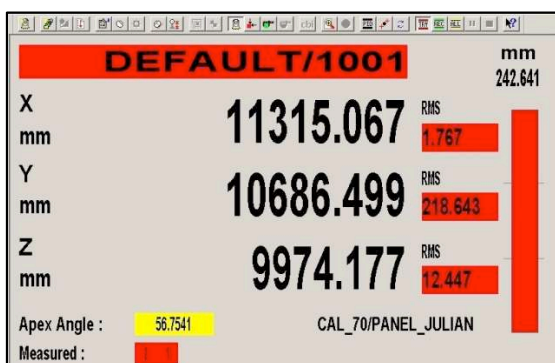


Figura 35. Pantalla de medición con error de puntería

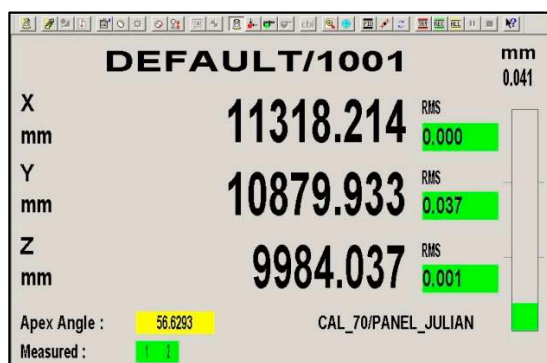


Figura 36. Pantalla de medición sin error de puntería

Una vez conseguidos todos los puntos se realizó un desplazamiento del origen de coordenadas base, a la posición del objeto. Por medio del menú de alineación de ejes (Axis Alignment, como se puede ver en la (Figura 37)) se definió el eje central del barco como el eje X, la altura del barco la dirección del eje Y, y la perpendicular a ambos el eje Z. Por lo que se dio coordenadas a la pirámide 5000 (10000, 10000, 10000) se fijó el eje X en la pirámide 5004 y el eje positivo de las Y en dirección hacia el punto 2001, para conseguir que todas las coordenadas obtenidas fueran positivas.

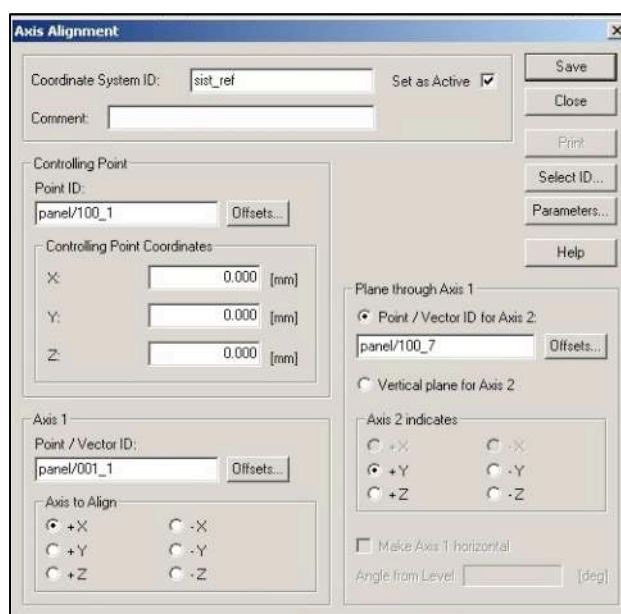


Figura 37. Pantalla de desplazamiento de origen de coordenadas

Por último, después de obtener todos estos valores, se exportó los valores de las mediciones para realizar el trabajo de fotogrametría.

3.4 Toma fotográfica

Para la toma fotográfica, lo primero que se realizó fue la colocación de una cinta (Figura 38), que rodeara toda la figura, a la distancia establecida en el anteproyecto, para marcar las pasadas. En cada tira de cinta se marcó el punto correspondiente al segundo fotograma, de manera que se viera el contorno de la figura del lado en que se encontraba la cinta. Como en el anteproyecto se estableció un recubrimiento longitudinal de 80%, en el Excel se calculó que la distancia de avance era de 0,173 metros, con estos datos se señaló en la cinta la posición del primer fotograma de la pasada o primera posición de la cámara y las sucesivas hasta acabar la pasada.

Posteriormente, se colocó el trípode de la cámara a la altura establecida en el anteproyecto. Para que la captura fotográfica se realizara de la manera más óptima y homogénea posible, se colocó una serie de focos de iluminación y para evitar cualquier movimiento de la cámara, se captó las fotografías desde un ordenador portátil y se realizó la toma de fotografías con un panel blanco de fondo.



Figura 38. Colocación de la cinta

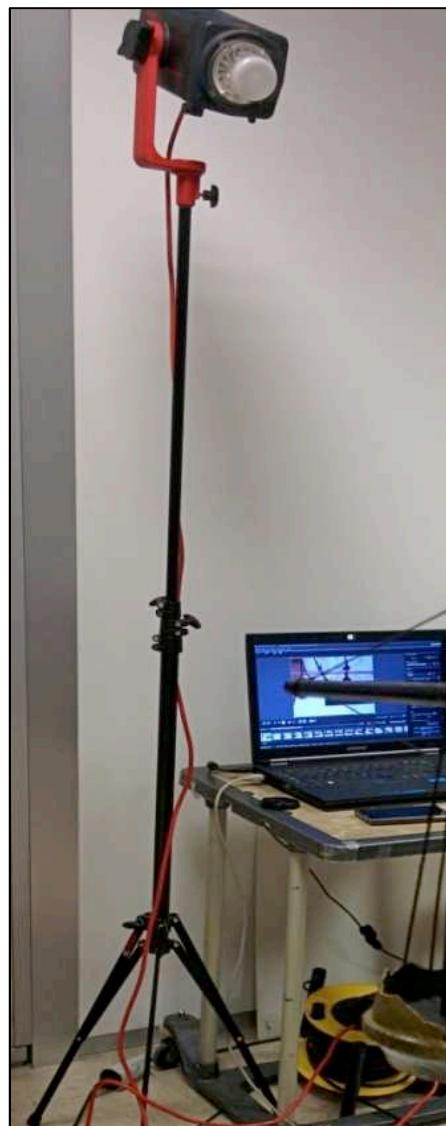


Figura 39. Focos y Ordenador



Figura 40. Panel Blanco para captura de fotos

Para las pasadas superiores, como el trípode de la cámara carecía de altura suficiente, se utilizó otro trípode que se colocó por debajo del trípode de la cámara y se fijó con cinta (Figura 41).



Figura 41. Colocación del 2º trípode para las pasadas superiores

La geometría de la red fotogramétrica quedó definida de la siguiente forma:

- 4 pasadas frontales a diferentes alturas
 - Pasada 1 → pasada de la panza
 - Pasada 2 → pasada del casco, en esta pasada se hicieron tomas de unión (estribor-proa, proa-babor, babor-proa, popa-estribor)

- Pasada 3 → pasada de la arboladura, jarcias y cofas
- Pasada 4 → Última pasada, donde se apreciaba el final de la arboladura.
- 2 pasadas inclinadas a diferentes alturas
 - Pasada 1 → pasada del casco y la cubierta
 - Pasada 2 → pasada correspondiente para el interior de las cofas.
- 5 tripletas
 - Las tripletas eran tres fotos que no correspondían a ninguna pasada, se utilizaron para la visualización de zonas que con las pasadas no se podían ver bien.
- 11 pares sueltos
 - Los pares eran 2 fotos que no correspondían a ninguna pasada, se utilizaron para la visualización de zonas que con las pasadas no se podían ver bien o que tenían difícil acceso.

Pasadas frontales	Pasada 1	20 Fotogramas
	Pasada 2	33 Fotogramas
	Pasada 3	24 Fotogramas
	Pasada 4	19 Fotogramas
Pasadas inclinadas	Pasada 5	18 Fotogramas
	Pasada 6	14 Fotogramas
	Tripletas	15 Fotogramas
	Pares sueltos	22 Fotogramas
Fotogramas totales		165 Fotogramas

Esta fue la distribución final, con el número de fotograma colocado en su correspondiente pasada, tripleta o par suelto.

	Estribor										Estribor-Proa		Proa			Proa-Babor		Babor										Babor-Popa			Popa			Popa-Estribor			
Pasada 1(panza)	174	175	176	177	178	179	180	181					182	184	185			168	169	170	171	172	173							93	94	95					
Pasada 2	2	3	4	5	6	7	8	9	10		102	103	104	105	106	107	108	118	119	120	121	122	123	124	125		101	100	99	90	91	92	98	96	97		
Pasada 3	11	12	13	14	15	16	17	18	19				109	111	112			126	127	128	129	130	131	132	133	134				86	87	88					
Pasada 4	20	21	22	23	24	25	26						113	114	115			135	136	137	138	139	140	141	142	143											
Pasada 5 (1ª inclinada)	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39								151	152	153	154	155							82	83	85						
Pasada 6 (2ª inclinada)	40	41	42	43	44	45	46											144	145	146	147	148	149	150													
Tripletas	165	166	167		188	189	190		60	61	62		156	157	158		54	55	56																		
Pas-Suelto	66	67		68	69		70	71		74	75		76	77		159	160		161	162		163	164		191	192		57	58		64	65					

3.5 Orientación Fotogramétrica

En este proceso lo que se pretendió definir es la posición exacta, la orientación y la geometría de la toma fotográfica, para poder realizar observaciones sobre esta.

Como indica el Método General de la Fotogrametría, el primer paso fue la Orientación Interna y el segundo paso, la Orientación Externa.

3.5.1 *Orientación Interna*

La Orientación Interna se basa en conocer la geometría de la cámara, con respecto a un sistema de coordenadas (fotocoordenadas).

Esta geometría viene determinada por los parámetros de la orientación de la cámara fotográfica, los cuales se calcularon en el proceso de calibración de la cámara (explicado en el apartado “3.2. Calibración de la cámara”).

Estos parámetros se utilizarán para transformar las coordenadas pixel de la imagen en fotocoordenadas.

3.5.2 *Orientación Externa*

3.5.2.1 *Introducción*

En la Orientación Externa se establece la relación entre el sistema bidimensional imagen (fotocoordenas) con el sistema tridimensional objeto (coordenadas locales).

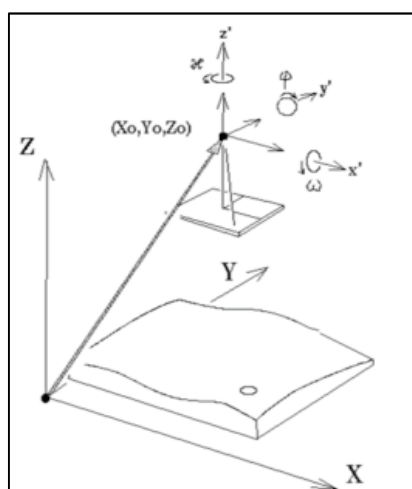


Figura 42. Esquema de Orientación Externa

Como bien se sabe, para poder obtener una buena representación tridimensional, se necesitan dos fotografías de dicho objeto, tomadas desde dos puntos de vista distintos. Se trata entonces de un problema de intersección en el espacio, donde cada punto del objeto está determinado por un par de rayos, llamados rayos homólogos, que salen de los centros de proyección y cortan en dicho punto. Gracias a esto podemos ver dos imágenes en 3D.

Por lo tanto, no sólo se necesita conocer la posición del centro de proyección con respecto a un sistema de coordenadas (fotocoordenadas de la Orientación Interna) sino que también se necesita conocer la posición de ese fotograma en el espacio, esto es la Orientación Externa. Los elementos de la Orientación Externa que definen la posición y orientación de cada imagen en el momento de la toma, serán $(X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa)$.

3.5.2.2 Proceso de orientaciones

Como ya se ha dicho en apartados anteriores, el software utilizado para todo el proceso fotogramétrico, es el Image Master de Topcon. Dicho software dispone de varios módulos, como Image Master Calib utilizado para realizar la Orientación Interna, también tiene el módulo de orientaciones, gracias al cual se calculó los parámetros de la Orientación Externa, que es la siguiente fase de este proyecto.

Para llevar a cabo el siguiente proceso, se creó un nuevo proyecto adaptado a nuestro trabajo. Lo primero que se hizo fue definir el sistema de coordenadas de trabajo y las unidades con las que se iba a trabajar.

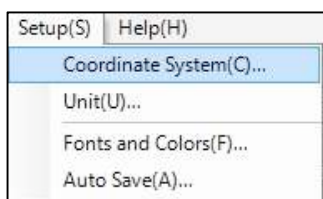


Figura 43. Definición del sistema

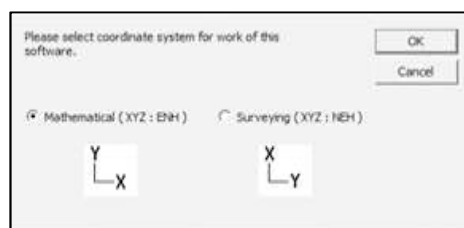


Figura 44. Sistema de coordenadas elegido

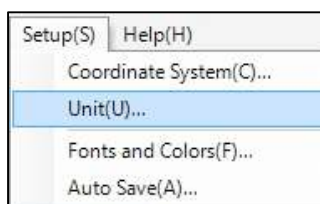


Figura 45. Definición de unidades

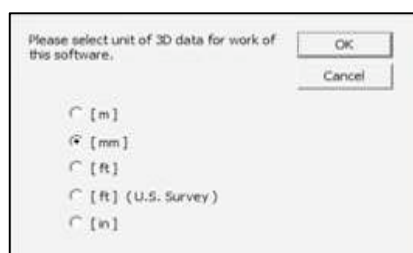


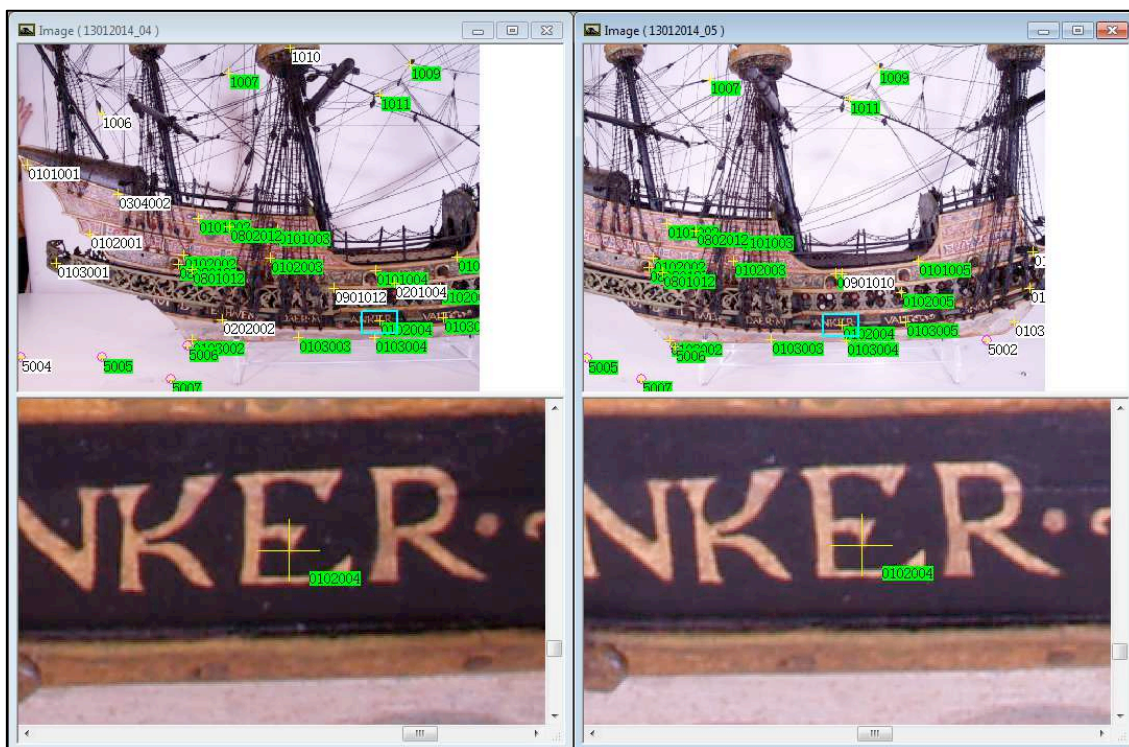
Figura 46. Unidades elegidas

A continuación, en el programa se introdujeron varios ficheros necesarios para poder llevar a cabo el trabajo, que son:

- Fichero (*.cmr), que es el propio fichero de los resultados de la calibración de la cámara anteriormente explicado.

-
- Stereo Pairs (209)
- 13012014_02 - 13012014_03
 - 13012014_03 - 13012014_04
 - 13012014_04 - 13012014_05
 - 13012014_05 - 13012014_06
 - 13012014_06 - 13012014_07
 - 13012014_07 - 13012014_08
 - 13012014_08 - 13012014_09
 - 13012014_09 - 13012014_10
 - 13012014_02 - 13012014_04
 - 13012014_03 - 13012014_05
 - 13012014_04 - 13012014_06
 - 13012014_05 - 13012014_07
 - 13012014_06 - 13012014_08
 - 13012014_07 - 13012014_09
 - 13012014_08 - 13012014_10
 - 13012014_102 - 13012014_103
 - 13012014_104 - 13012014_105
 - 13012014_105 - 13012014_106
 - 13012014_104 - 13012014_106
 - 13012014_107 - 13012014_108

Por lo tanto, se abrió el primer par (en nuestro caso es el 13012014_02 – 13012014_03) y se empezó a medir puntos bien definidos sobre la superficie de la pieza.



ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía
Universidad Politécnica de Madrid

En total, se midieron unos 12 puntos (aunque en algunos casos se midieron algunos puntos más por falta de visión), de estos puntos 9 serán puntos de enlace medidos sobre la superficie del barco, se realizó un solape en cada par estereoscópico. También de dichos puntos, 6 fueron utilizados para calcular las incógnitas ($X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa$).

Entre estos 12 puntos medidos, estaban además todos los puntos de apoyo que se veían en el par estereoscópico, de los cuales, ya se tuvo sus coordenadas calculadas anteriormente, que se introdujeron en el programa y se llamaron con el mismo nombre que tenían en el fichero (*.txt) para que el programa los pudiera reconocer. Con este paso lo que se consiguió obtener las coordenadas terreno de los puntos de enlace y dar escala al modelo.



Figura 49. Medición de los puntos de apoyo, punto 2015 Image Master

Se continuó así hasta completar todas las pasadas y llegar al último par, el cual debía enlazar con el primero.

3.5.2.3 Resultados

Como resultado de estas operaciones, se obtuvo un fichero de Orientación Externa, en el que se tenía:

- o Las coordenadas y sus desviaciones de todos los puntos medidos en cada imagen, en los dos sistemas, en el sistema de medida de la imagen (pixel) y en el sistema de referencia local (mm):

[Image Coordinates]					
Image 1					
Image Name		13012014_02			
Image Coordinates and Residuals [pixel]					
PointName	x[pixel]	y[pixel]	dx[pixel]	dy[pixel]	
0101001	1123.00	810.00	-0.38	0.18	
0103001	1395.00	1542.00	0.33	-0.27	
0102002	2370.00	1467.50	0.11	-0.16	
0103002	2302.50	2071.50	-0.16	-0.37	
0103003	3040.50	2019.00	-0.10	-0.41	
5004	976.00	2257.50	0.10	-0.28	
5005	1610.00	2232.50	0.13	0.37	
5006	2142.50	2117.50	0.19	0.81	
5007	2289.50	2352.00	-0.31	-0.68	
0102003	2968.50	1476.50	-0.27	0.24	
0101003	3025.50	1281.75	-0.15	0.93	
0101002	2474.75	1207.00	0.16	0.55	
0102001	1650.63	1321.25	-0.31	0.49	
0303001	1447.50	1081.00	0.73	0.06	
0303002	1675.50	1107.50	0.39	-0.48	
0304002	1878.50	1026.50	-0.49	0.35	
1006	1613.00	445.00	0.05	0.32	
0302001	1642.50	1009.50	-0.00	-0.34	
1007	2469.00	192.00	0.69	-0.17	
1010	3081.50	41.00	-0.37	-0.18	
0201001	2153.00	1823.02	-0.18	-0.85	
RMS [pixel]		0.57			
Number of Image Coordinates		21			
Photo Coordinates and Residuals [mm]					
PointName	x[mm]	y[mm]	dx[mm]	dy[mm]	
0101001	-2.754048	2.132710	-0.001964	0.000939	
0103001	-1.321496	-1.696624	0.001692	-0.001409	
0102002	3.793631	-1.317955	0.000583	-0.000850	
0103002	3.472144	-4.536759	-0.000813	-0.001900	
0103003	7.532359	-4.341393	-0.000515	-0.002144	
5004	-3.588979	-5.556104	0.000519	-0.001433	
5005	-0.202914	-5.380750	0.000693	0.001912	
5006	2.618700	-4.773114	0.001011	0.004204	
5007	3.430768	-6.074760	-0.001601	-0.003542	
0102003	7.073479	-1.392178	-0.001392	0.001239	
0101003	7.387678	-0.349173	-0.000778	0.004813	
0101002	4.351537	0.051405	0.000812	0.002881	
0102001	0.012180	-0.543149	-0.001636	0.002570	
0303001	-1.045273	0.707045	0.003776	0.000293	
0303002	0.141533	0.568604	0.002030	-0.002517	
0304002	1.199106	0.991303	-0.002571	0.001816	
1006	-0.185560	4.057131	0.000254	0.001654	
0302001	-0.030126	1.078920	-0.000018	-0.001763	
1007	4.391019	5.482460	0.003582	-0.000891	
1010	7.818941	6.413405	-0.001910	-0.000928	
0201001	2.654938	-3.189135	-0.000923	-0.004427	
RMS [mm]		0.002966			
Number of Photo Coordinates		21			

Figura 50. Coordenadas medidas en la imagen 1

Después estudiamos todos los valores del informe comprobando que el de mayor error es en la imagen 13012014_145 donde resaltamos el mayor error en x e y de los 11 puntos de control de la imagen, siendo este inferior a la tolerancia permitida:

Fotocoordenadas			Residuos	
Punto	x (mm)	y (mm)	dx (mm)	dy (mm)
1053	4.795661	3.151004	-0.004477	-0.000342
1061	-4.546630	2.568789	0.002110	-0.003790
Error medio cuadrático [mm]				0.003684

- Las coordenadas finales, después de hacer un promedio con las medidas en cada una de las imágenes de todos los puntos medidos, incluidos todos los puntos de apoyo, de los que además se incluyen los residuos, pues ya se tenían unas coordenadas de estos:

[Calculated Coordinates]						
Calculated Coordinates and Residuals						
PointName	X[mm]	Y[mm]	Z[mm]	DX[mm]	DY[mm]	DZ[mm]
0101001	11297.4667	10393.3549	9971.2571			
0103001	11232.4121	10208.7186	9943.8537			
0102002	10989.7502	10218.9987	9943.5946			
0103002	10994.7918	10043.5075	9995.6703			
0103003	10788.8139	10050.1804	9987.0905			
5004	11363.2753	9999.8553	9999.9406	0.0533	-0.1447	-0.0594
5005	11186.7019	9999.5996	10007.7049	-0.0241	-0.1124	-0.0501
5006	11024.1211	9998.0354	10078.6321	-0.0159	0.0104	0.1161
5007	11017.3725	10002.2280	9916.7676	-0.0505	0.1020	-0.0044
0102003	10837.6392	10211.5680	9936.5756			
0101003	10822.4269	10259.9556	9937.3015			
0101002	10961.4042	10282.7078	9946.8166			
0102001	11167.4008	10260.2244	9955.1716			
0303001	11216.6931	10321.7532	9962.2195			
0303002	11159.6852	10313.4880	9958.1697			
0304002	11108.6406	10331.8521	9953.4756			
1006	11170.0511	10495.4120	10031.3764			
0302001	11167.0433	10338.1399	9959.9680			
1007	10913.6626	10576.7347	10078.5218			
1010	10791.4991	10575.7095	9956.2175			
0201001	11045.0232	10130.3838	9945.9550			
0101004	10659.0738	10188.1608	9924.6205			
0102004	10651.6853	10099.4281	9923.7881			
0103004	10643.9582	10045.9445	9984.5184			
0202002	10924.6985	10103.2423	9940.1615			
0202003	10740.9698	10087.5141	9933.0222			
0203003	10728.2147	10044.5870	9988.5222			
0302003	10828.8793	10584.0226	9972.1769			
1011	10623.9148	10498.7726	9999.8124			
0101005	10521.2477	10206.8402	9921.2313			
0102005	10549.3472	10154.4802	9918.6673			
0103005	10542.0676	10101.8926	9920.7238			
0201004	10628.3946	10165.7110	9921.2679			
1009	10568.6562	10551.9592	9994.5986			
0901012	10732.7920	10163.6058	9907.2613			
0803012	10998.6832	10203.8056	9941.6126			
0802012	10905.1504	10267.9036	9942.5754			

Figura 51. Promedio de coordenadas

- o Las posiciones de la cámara en cada una de las imágenes, es decir, las coordenadas (X_0, Y_0, Z_0) de la posición de la cámara en cada toma y los ángulos de rotación de la misma (ω, ϕ, κ).

[Camera Locations]						
Camera Positions and Angles						
ImageName	Xo[mm]	Yo[mm]	Zo[mm]	Omega[deg]	Phi[deg]	Kappa[deg]
13012014_02	11169.5322	10324.0681	9286.3514	3.212	-179.703	-1.794
13012014_03	10994.1169	10323.2668	9279.0666	3.314	-179.287	-1.898
13012014_04	10830.3749	10321.2177	9287.2109	3.450	176.972	-1.857
13012014_05	10657.3766	10321.4725	9286.0422	3.335	177.427	-2.042
13012014_06	10477.4273	10320.4644	9310.7056	3.706	178.515	-1.838
13012014_07	10306.5280	10318.8419	9314.2380	3.708	179.463	-1.928
13012014_08	10133.7296	10318.0721	9310.2664	3.791	178.576	-2.218
13012014_09	9971.2082	10317.2746	9309.3349	3.891	179.572	-1.868
13012014_10	9805.0179	10317.5965	9309.8189	3.292	178.741	-1.945
13012014_102	9630.6752	10230.2761	9439.5679	6.604	132.529	-3.787
13012014_103	9469.2513	10224.5031	9536.0644	6.212	126.766	-3.903
13012014_104	9474.6555	10187.8594	9833.1189	-68.234	87.489	70.693
13012014_105	9480.6152	10184.5947	9981.6311	78.212	92.365	-76.350
13012014_106	9487.1172	10177.4534	10201.2049	120.503	92.829	-118.456
13012014_107	9471.3039	10172.6418	10330.3863	-2.362	59.667	3.967
13012014_108	9603.3149	10165.3227	10570.5572	-0.799	47.115	2.567
13012014_118	9983.2533	10259.4919	10703.6826	1.341	0.325	0.509
13012014_119	10155.3127	10262.3360	10704.2713	1.481	0.542	0.340
13012014_120	10310.4121	10263.8336	10679.0732	1.815	-1.931	0.421
13012014_121	10486.5598	10263.3007	10683.5319	1.599	-1.464	0.548
13012014_122	10645.0060	10265.4120	10655.2000	1.654	0.757	0.716
13012014_123	10830.6729	10265.2164	10676.5339	1.362	-0.085	0.537
13012014_124	11006.4292	10266.5323	10660.4937	1.528	-0.164	0.665
13012014_125	11182.9992	10266.2144	10667.4273	1.656	2.120	0.550
13012014_101	11710.1020	10198.8740	10591.9241	0.482	-52.854	-1.486
13012014_100	11789.3139	10203.3701	10442.2181	0.498	-56.276	-1.546
13012014_99	11868.2060	10208.7761	10326.6175	0.592	-59.888	-1.621
13012014_93	11894.2035	10224.0196	10154.7871	35.616	-91.354	32.648
13012014_94	11913.1526	10227.6818	9996.8522	-66.341	-88.881	-68.957
13012014_95	11886.7572	10228.6496	9852.8349	-34.879	-88.043	-37.715
13012014_98	11844.2439	10228.3161	9717.1554	5.389	-115.202	1.847
13012014_96	11757.6285	10231.8477	9582.1246	4.961	-115.831	1.544
13012014_97	11777.5571	10236.2216	9478.9745	5.184	-111.615	1.940
13012014_174	11259.9295	10038.0645	9536.1097	3.128	179.680	0.434
13012014_175	11110.2624	10038.2681	9531.9891	3.200	-179.794	0.688
13012014_176	10940.9620	10038.4395	9546.8530	3.193	178.722	0.821
13012014_177	10767.0756	10040.9168	9559.5176	3.508	179.866	0.977
13012014_178	10589.2412	10042.5635	9563.4736	3.447	179.930	0.880
13012014_179	10419.4856	10043.6228	9567.6753	3.419	-179.845	0.548

Figura 52. Posiciones de la cámara en cada toma fotográfica

- o La información relativa a cada par estereoscópico, es decir, la rotación de cada imagen en el par estereoscópico y la paralaje obtenido con su residual:

[Stereo Image Conditions]			
Number of Pairs	209		
Pair 1	Pair Name 13012014_02 - 13012014_03		
Relative Rotation Angles			
	Omega[deg]	Phi[deg]	Kappa[deg]
Left	0.054	2.157	-1.434
Right	-0.063	1.797	-1.557
Y-Parallax of Tie Points			
PointName	y-prx[pixel]	y-prx[mm]	
0101001	-0.37	-0.001948	
0103001	0.13	0.000674	
0102002	0.48	0.002516	
0103002	0.42	0.002192	
0103003	0.11	0.000566	
5004	-0.15	-0.000779	
5005	-0.01	-0.000069	
5006	-0.92	-0.004791	
0102003	-0.52	-0.002715	
0101003	-0.20	-0.001046	
0101002	-0.30	-0.001584	
0102001	-0.23	-0.001199	
0304002	-0.41	-0.002119	
1006	0.05	0.000250	
0302001	0.41	0.002118	
1007	0.61	0.003167	
1010	-0.19	-0.000968	
0201001	1.07	0.005578	
RMS [pixel]	0.54		
RMS [mm]	0.002812		
Number of Tie Points 18			

Figura 53. Parámetros del par estereoscópico

Después estudiamos todos los valores del informe comprobando que el de mayor error de los 209 pares, está en el par 13012014_145 – 13012014_147 donde resaltamos el mayor error de paralaje en y de los 7 puntos comunes de las imágenes, es inferior a la tolerancia permitida:

Punto	y-prx [pixel]	y-prx [mm]
2009	0.12	0.000647
0305010	-0.51	-0.002651
0603008	-0.14	-0.000715
0602008	0.61	0.003163
0603009	-0.08	-0.000441
0602009	0.80	0.004176
1053	-0.79	-0.004084
RMS [pixel] = 0.98		RMS [mm] = 0.005113

- o Y por último, se tuvo los resultados de la formación de los pares estereoscópicos, donde se especifica la longitud de la base, la distancia entre par estereoscópico y el objeto (alejamiento), la proporción entre la base y el alejamiento (para esta proporción se ha estudiado que una proporción de entre 0,5 y 1,0 es la idónea para obtener precisión en los puntos de los Modelos Digitales de Elevaciones, además debe ser constante entre pares contiguos) y la resolución planimétrica y altimétrica:

PairName	BaseLength[mm]	Height[mm]	B/H Ratio	PlaneRes[mm]	DepthRes[mm]
13012014_02 - 13012014_03	175.5683	708.2863	0.25	0.2631	1.0615
13012014_03 - 13012014_04	163.9573	703.9184	0.23	0.2615	1.1227
13012014_04 - 13012014_05	173.0024	688.0414	0.25	0.2556	1.0165
13012014_05 - 13012014_06	181.6344	690.2664	0.26	0.2564	0.9745
13012014_06 - 13012014_07	170.9435	681.1708	0.25	0.2530	1.0083
13012014_07 - 13012014_08	172.8458	679.7122	0.25	0.2525	0.9929
13012014_08 - 13012014_09	162.5260	684.0759	0.24	0.2541	1.0696
13012014_09 - 13012014_10	166.1913	707.4431	0.23	0.2628	1.1187
13012014_02 - 13012014_04	339.1704	710.8794	0.48	0.2641	0.5535
13012014_03 - 13012014_05	336.8173	727.4720	0.46	0.2702	0.5837
13012014_04 - 13012014_06	353.7294	692.4765	0.51	0.2572	0.5036
13012014_05 - 13012014_07	351.9896	713.5336	0.49	0.2651	0.5373
13012014_06 - 13012014_08	343.7064	686.9226	0.50	0.2552	0.5100
13012014_07 - 13012014_09	335.3594	704.2845	0.48	0.2616	0.5494
13012014_08 - 13012014_10	328.7123	704.9086	0.47	0.2619	0.5615
13012014_102 - 13012014_103	188.1557	775.4842	0.24	0.2881	1.1873
13012014_104 - 13012014_105	148.6675	748.5769	0.20	0.2781	1.4002
13012014_105 - 13012014_106	219.7861	714.5217	0.31	0.2654	0.8629
13012014_104 - 13012014_106	368.4438	739.5676	0.50	0.2747	0.5515
13012014_107 - 13012014_108	274.1579	797.2859	0.34	0.2962	0.8613
13012014_118 - 13012014_119	172.0839	706.1922	0.24	0.2623	1.0766
13012014_119 - 13012014_120	157.1401	696.2530	0.23	0.2586	1.1460
13012014_120 - 13012014_121	176.2049	664.5308	0.27	0.2469	0.9310

Figura 54. Posición y precisión de los pares estereoscópicos

Analizando los resultados expuestos anteriormente, se realizó un estudio de todos los informes que se obtuvieron de la Orientación Externa y en un apartado del mismo se pudo observar que la precisión final de las coordenadas medidas está por debajo del mm (precisión requerida para que el trabajo que realizamos este dentro de tolerancia):

- Número de coordenadas imagen utilizadas en el ajuste: 375
- Número de puntos de control utilizados en el ajuste: 33
- Máximo residuo:

$$dX = -0,208$$

$$dY = 0,186$$

$$dZ = 0,116$$

- Desviación típica de los puntos (mm):

$$\sigma X = 0,066$$

$$\sigma Y = 0,084$$

$$\sigma Z = 0,051$$

Una vez terminado todo el proceso de orientación, se llevó a cabo los trabajos de restitución.

Los resultados que se obtuvieron en todo el cálculo de la orientación, se encuentran disponibles en los anexos, siendo los resultados mostrados en este apartado un estudio de todos los valores obtenidos. Dicho estudio consigue analizar y comprobar que los valores estimados a priori de la toma entran dentro de la tolerancia establecida, por lo cual, el proceso de orientación es apto.

3.6 Restitución

3.6.1 *Introducción*

La restitución es la última etapa dentro de la cadena de trabajo en fotogrametría, consiste en la formación precisa de pares estereoscópicos en el desarrollo de la orientación de imágenes y en la posterior extracción de los elementos contenida en ellas.

Para poder restituir es necesario un sistema de visión estereoscópica, ya sea analógica, analítica o los más recientes los digitales. La visión estereoscópica es la capacidad visual de dar tridimensionalidad a los objetos a partir de imágenes.

Para poder tener esa capacidad visual el ojo izquierdo debe observar la imagen izquierda y el ojo derecho debe observar la imagen derecha, el fruto será la creación espacial tridimensional con efecto estereoscópico.

La Restitución viene condicionada por la orientación de las imágenes explicadas en el punto 3.5, porque los puntos parejos que se encuentran en las dos imágenes deben seguir la misma dirección, esta dirección viene marcada por una recta.

3.6.2 *Proceso de restitución*

Esta etapa del proyecto fue realizada con el mismo software que utilizamos para la orientación fotogramétrica, ya que el programa dispone de un módulo de restitución.

Para conseguir la profundidad de imagen, se empleó el método de visión estereoscópica por polarización de gafas activas. Para obtener el efecto de profundidad, en este método nos ayudamos de las gafas antes mencionadas, para poder ver las imágenes con distinta polarización en la pantalla.



Figura 55. Gafas polarizadas



Figura 56. Visión estereoscópica gafas polarizadas

Con los modelos estereoscópicos correctamente formados y orientados, se comienza la restitución, dibujando líneas o puntos posándose sobre el objeto.

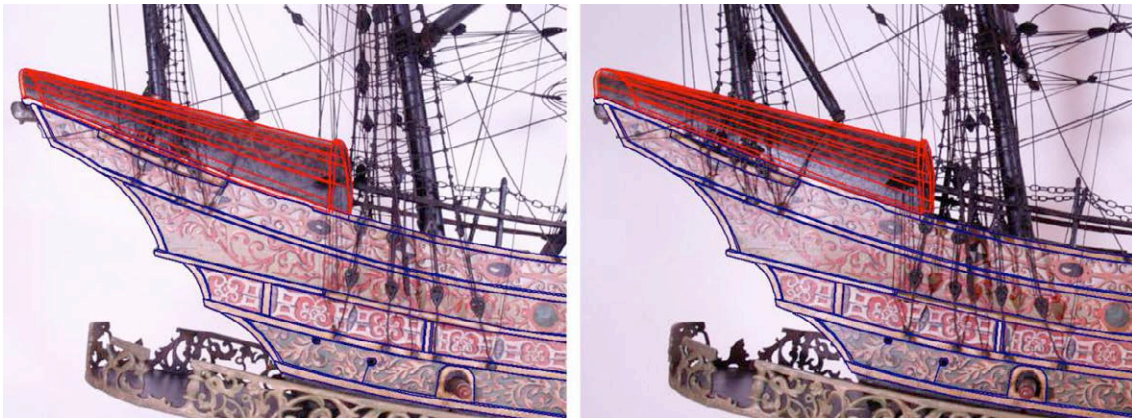


Figura 57. Líneas características sobre el objeto

En esta parte del programa se adquirieron todas las líneas características del barco y se realizaron las mediciones para su posterior tratamiento.

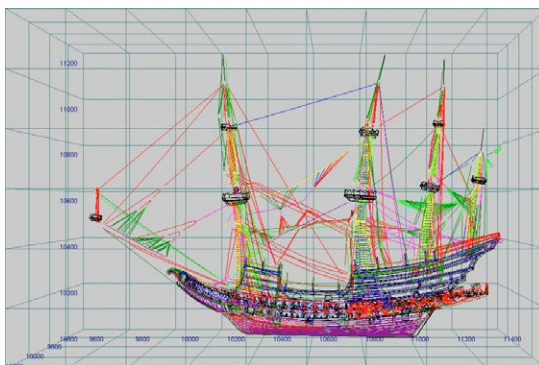


Figura 58. Líneas características de babor



Figura 59. Líneas características de estribor

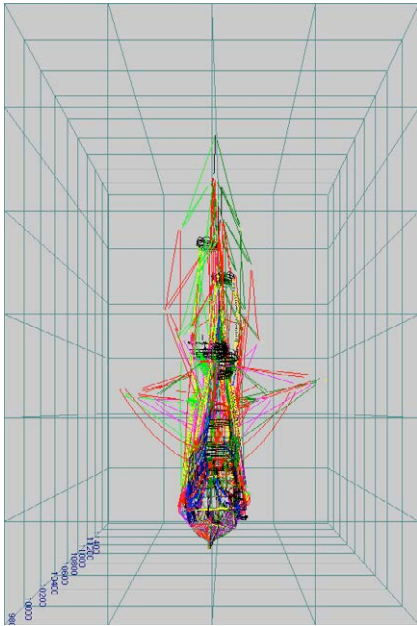


Figura 60. Líneas características de proa

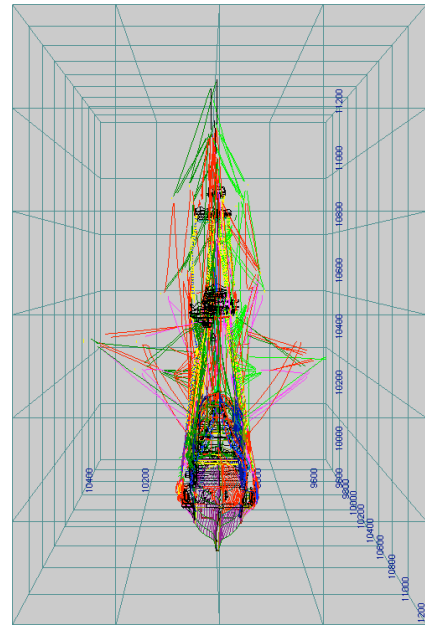


Figura 61. Líneas características de popa

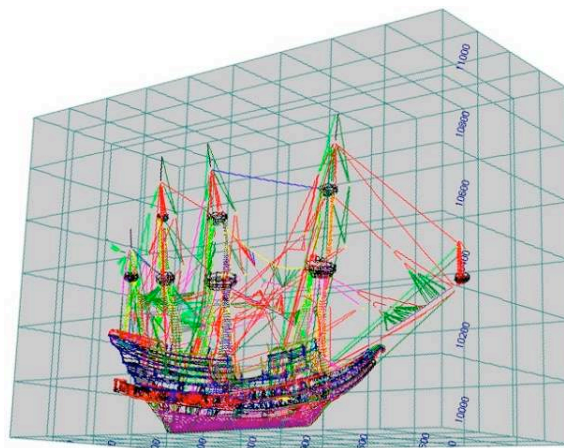


Figura 62. Líneas características desde la vista perspectiva

3.7 Modelado Tridimensional

El modelado tridimensional es la etapa del proyecto en la que todo el trabajo previo se unifica en uno y todos aquellos detalles que la fotogrametría terrestre no es capaz de realizar, o solo es capaz de realizar una parte de la misma, se completa por esta técnica de edición CAD (Computer Aided Design) en 3D. Para dicha finalidad necesitamos un programa de modelización tridimensional, que además de aceptar los ficheros que Topcon Image Master exporta, sea capaz de visualizar y editar el objeto que nos lleva a estudio, por lo cual *“Rhinceros 5.0 modeling tool for designer”* fue el soporte elegido para la realización del mismo.

Rhinceros es una herramienta que permite realizar la modelización, a partir de las texturas en mallas poligonales importadas en un fichero VRML (Virtual Reality

Modeling Language), compuesto por geometrías básicas en un espacio tridimensional y que además enlaza dichas geometrías a ficheros de imagen, cosa que en nuestro caso es muy importante para que el modelo tridimensional esté dotado de la apariencia original de la pieza. Además del fichero de exportación fundamental para el resultado final obtenido que nos hizo decantarnos por el programa Rhinoceros (por el tratamiento del mismo señalado anteriormente), el programa Image Master, permite exportar total o parcialmente las distintas capas generadas y que han servido de guía en un fichero DXF (Drawing Exchange Format), fue creado por AutoDesk para intercambiar el fichero propio DWG (sin todas las funciones que este posee) de su programa AutoCAD, con el resto de programas de diseño por ordenador. Este fichero ha permitido exportar líneas, líneas poligonales y puntos para facilitar la modelización, tanto como líneas de ruptura como de posicionamiento espacial de referencia.

En este apartado hemos realizado diversos trabajos entre sí, para completar y cerrar la pieza, que son los siguientes:

- Generación de volúmenes (detalles de la ornamentación estructural, jarcia, etc.).
- Modelado de piezas genéricas y su colocación en el espacio.

En todos los trabajos de generación de piezas del modelo tridimensional, los materiales que se le han aplicado a las superficies generadas han sido obtenidas por medio de la herramienta cuentagotas de la mejor toma de todas las disponibles del objeto al que se le ha aplicado, para que siempre el modelo final sea lo más semejante al real. Además hay piezas que se podrían haber obtenido parcialmente su textura y casi todo su contorno pero para optimizar el trabajo se decidió modelizar a partir de la restitución parcial el total de la pieza y así evitar que la pieza estuviese cortada o formada a trozos.

3.7.1. Generación de volúmenes

En el modelado nos aportó como solución, fue la necesidad de dotar de volumen a la jarcia de la pieza y a todos los elementos con cualquier detalle que se encontrase como objeto ornamental a lo largo del casco por su estructura.

El primer método de generación de volúmenes fue el de extrusión de una malla poligonal que se utilizó para los detalles de ornamentación del casco que además es una parte estructural de la pieza, fueron los pilares de sujeción del castillo con respecto a la panza, tanto por babor, como por estribor. A partir de este método, no solo se realiza una extrusión de una malla poligonal, sino un desfase sólido, generando un desplazamiento de la malla de referencia y también un volumen cerrado totalmente y normal a la superficie que se obtiene de referencia. También se realizó por dicha técnica la extrusión del balcón de popa y las cofas de la arboladura, dicha técnica mantiene la aplicación de la textura por ambas caras del volumen que queda

generado, en vez de por malla de poligonal por un lado y superficie por el otro lado como en el casco, ya que queremos que el material de estos objetos sea el que caracterice a toda la pieza y se totalmente visible. La distancia extruida en las piezas de los pilares y del balcón por la técnica de desfase de mallas poligonales fue de 3,5 mm (medida está en distintas posiciones de la pieza). El único inconveniente de este método es que al generar el volumen o desfase normal a la malla que toma de referencia, en algunas esquinas de la figura restituida se debe tener cuidado para eliminar imperfecciones y desplazamientos extraños.



Figura 63. Balcón



Figura 64. Balcón estribor



Figura 65. Balcón babor

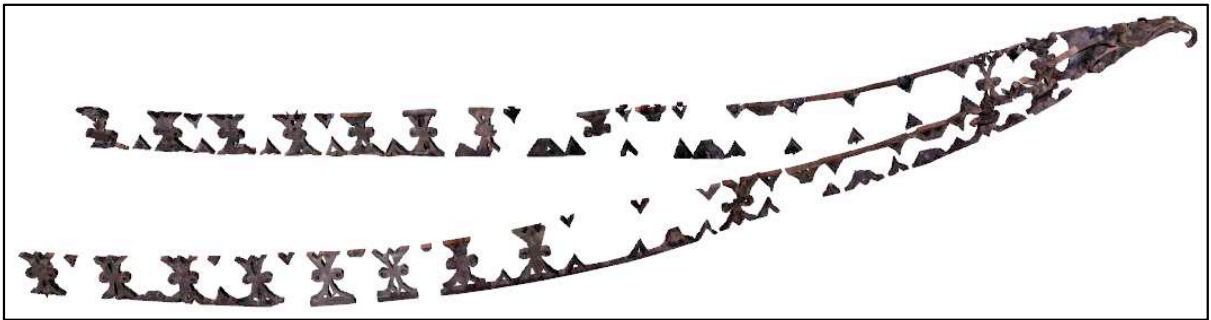


Figura 66. Pilares

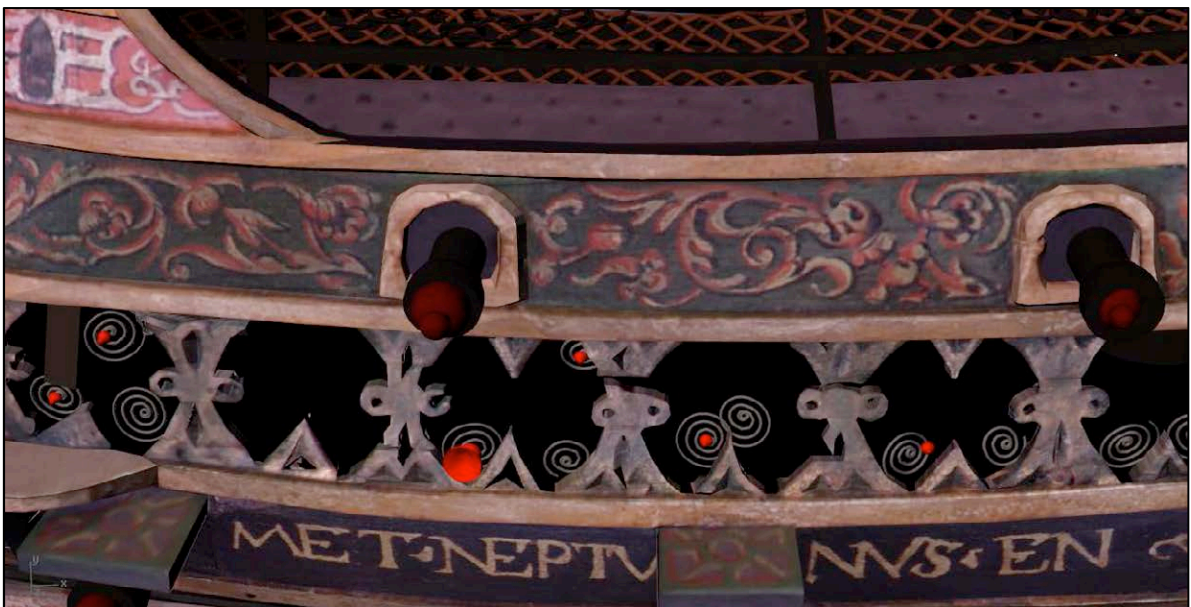


Figura 67. Pilares babor

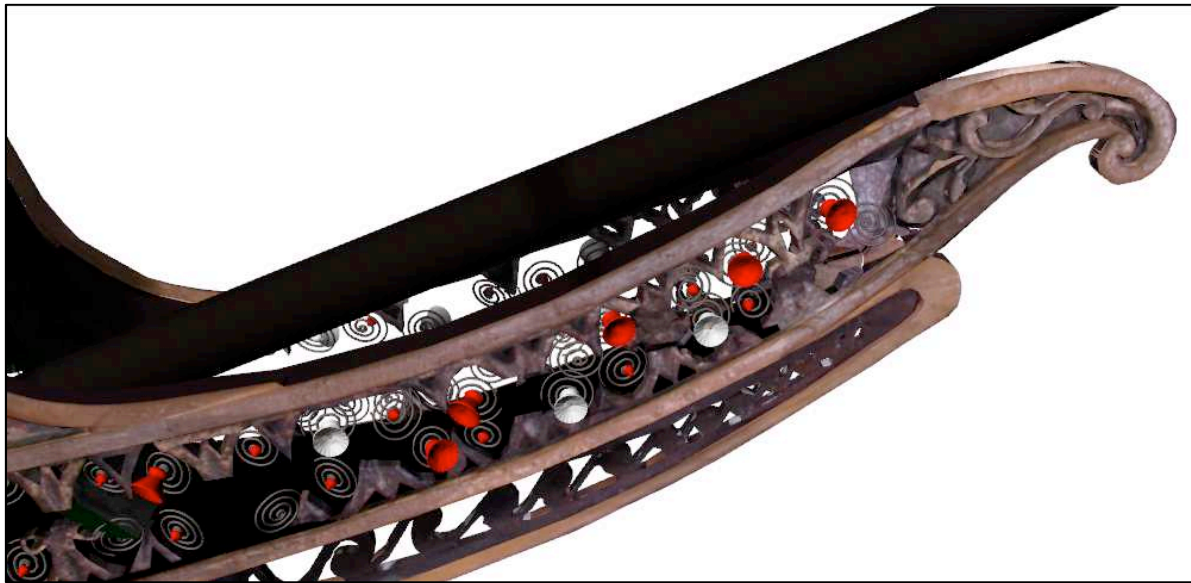


Figura 68. Pilares proa

En el caso de la valla de borde del casco en la cual se sitúa la cadena, se obtuvo los bordes de la misma por medio de la restitución, desde los cuales se generaron las superficies entre cada borde y al cerrar dicha pieza ya disponíamos de ella con el volumen de la misma. En estos objetos en algunos hubo que alagar el contorno generado en la parte inferior para que cortase con la cubierta ya que al meterse por detrás del casco algunos bordes fueron de difícil acceso para la restitución de los mismos.

Finalmente, en la modelización de piezas del Galeón Flamenco del Museo Naval de Madrid, y como último paso para la obtención del producto final, se trata de la generación de un volumen a partir de las líneas obtenidas en la restitución y último método utilizado. En este caso generaremos el volumen tanto de la red de cubierta como la jarcia de la pieza, la única diferencia es que para la generación de la red de cubierta se restituyó una región de la misma como patrón, que se duplicó hacia todos los lados de la misma formando una gran malla que después se acopló entre las vigas de cubierta y la cubierta, ya restituidas y modelizadas, y la cual se recortó en la intersección con el volumen interior del casco. Como se restituyó el eje de estos objetos medimos el diámetro de los mismos y les aplicamos la generación de una tubería a partir de una curva y así obtenemos el aspecto de un cilindro como si fuese un hilo o cuerda. Como la primera prueba de esta técnica fue la red, se le intento dar el aspecto de una cuerda real, para lo cual se generó una espiral a lo largo de la curva para conseguir la forma trenzada de una cuerda (Figura 72 y 93), el problema que surgió fue que al intentar colocar toda la red esta ocupaba alrededor de 600 MB, operación que con el hardware disponible hacía imposible el trabajo con el mismo de forma continua, eso sí sin tener en cuenta la jarcia que aumentaría considerablemente el número de espacio y haría que el trabajo fuese mucho más costoso. Por lo que se

descartó esta técnica que hubiese sido la correcta para que el aspecto se asemejase lo máximo posible, pero hubiera sido imposible para el programa de modelización mover el modelo completamente y hubiese alargado bastante en el tiempo el proyecto. El otro trabajo ya siguiendo la misma técnica que la red fue toda la jarcia, a la cual se dividió en tres grupos de cuerdas en función de su diámetro (14, 21 y 36 mm, todos ellos medidos en varias partes de la pieza (Figura 73,74 y 75). Este apartado fue bastante costoso, ya que la visión en la restitución en algunas zonas era bastante difícil, por lo que hubo que en post-restitución unir trozos de cuerdas tanto a los enganches y motones como entre sí, siempre comprobando que se estaba realizando el trabajo correcto con las imágenes de la toma. Como en la restitución solo se restituyó las líneas o ejes de las cuerdas hasta los nudos o enganches de las cuerdas, se decidió realizar las uniones entre cuerdas con lazos y unos nudos genéricos aplicados de diferente modo en función de la cuerda de procedencia o de la visualización en sí.



Figura 71. Espirales generación red

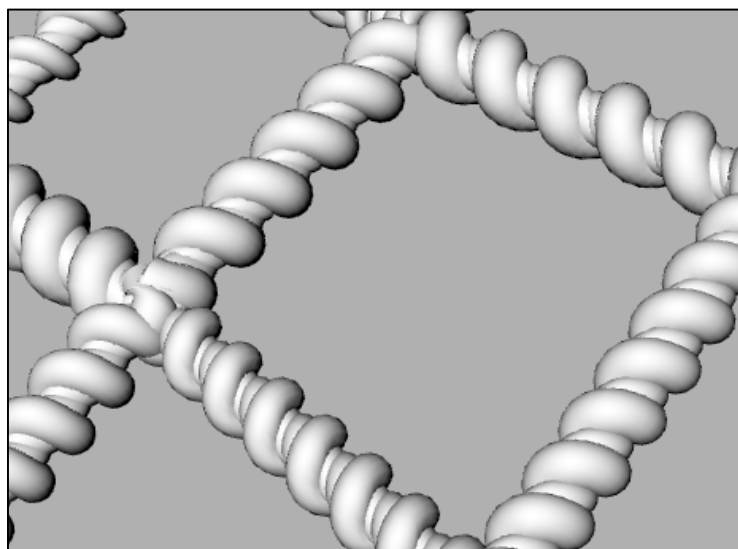


Figura 72. Red con volumen en espiral

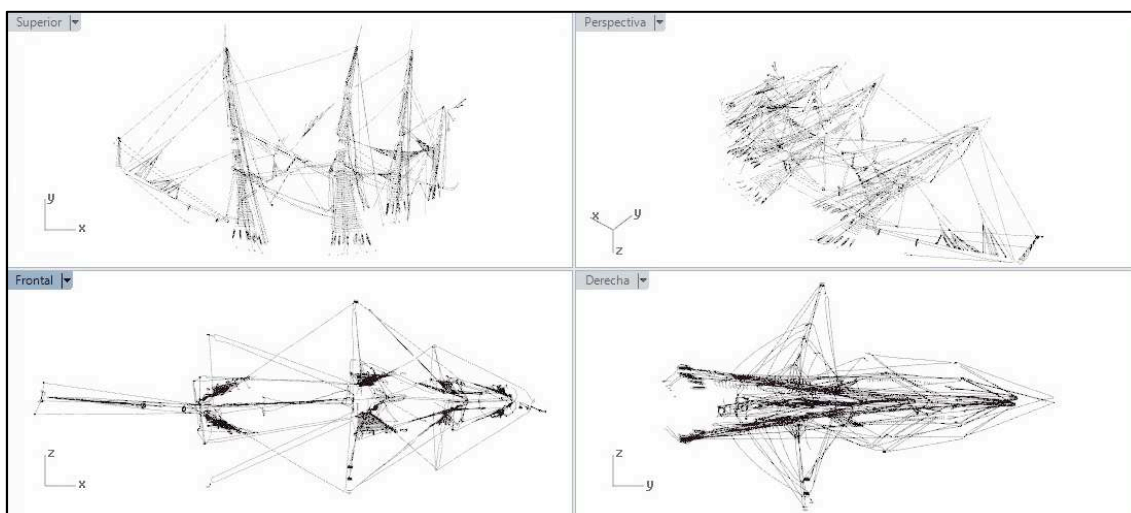


Figura 73. Jarcia de diámetro 14 mm

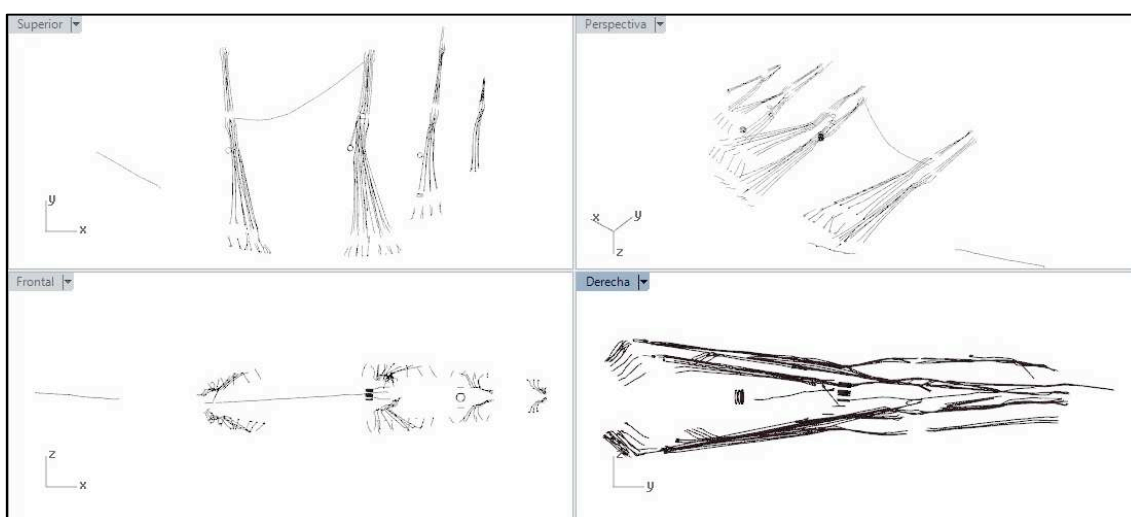


Figura 74. Jarcia de diámetro 21 mm

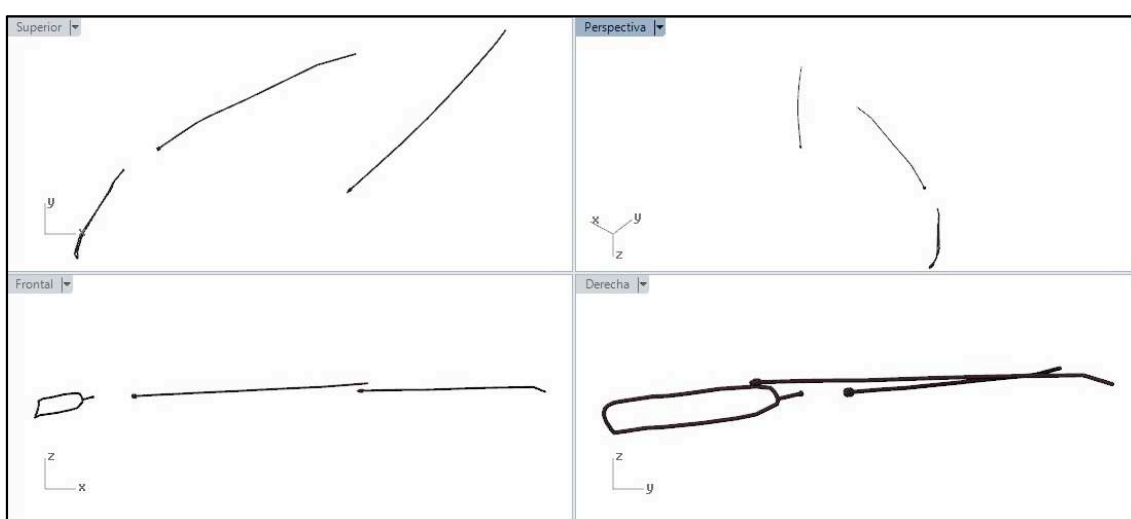


Figura 75. Jarcia de diámetro 36 mm

Estos son todos los trabajos que se realizaron para la generación de volúmenes a partir de objetos ya obtenidos por medio de la restitución, siendo este apartado de la modelización el más laborioso y el que más tiempo nos ha llevado. Debemos destacar que el trabajo más complicado por los conocimientos o por el volumen en sí, fue el de la generación de la jarcia, ya que se tuvo especial cuidado en que todas las cuerdas tuvieran su principio y su final o sobre un enganche o sobre un motón, realizándole el nudo de unión o el cruce lo más real posible (Figuras 76, 77, 78, 79 y 80).



Figura 76. Detalle de jarcia 1

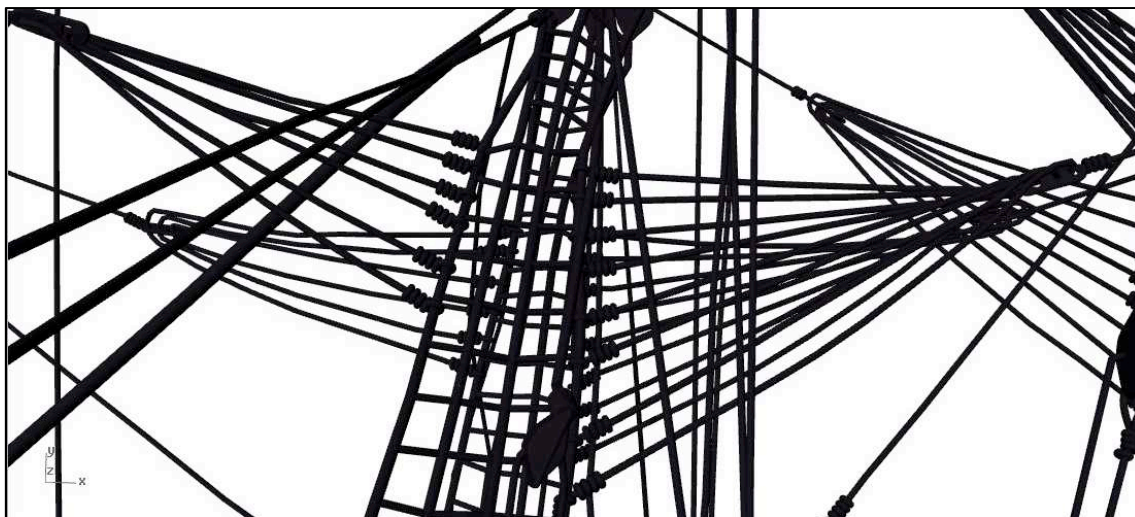


Figura 77. Detalle de jarcia 2

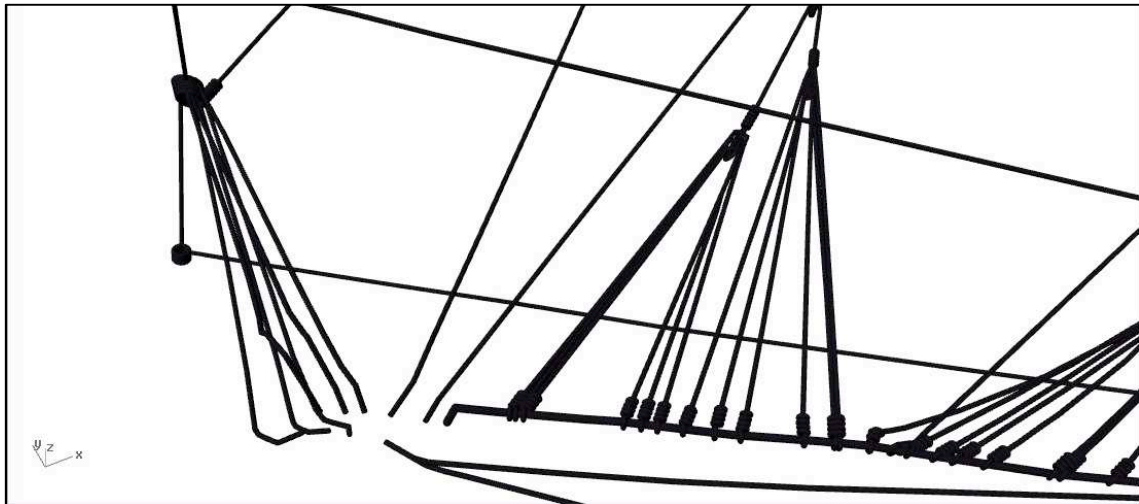


Figura 78. Detalle de jarcia 3



Figura 79. Detalle de jarcia 4



Figura 80. Detalle de jarcia con arboladura

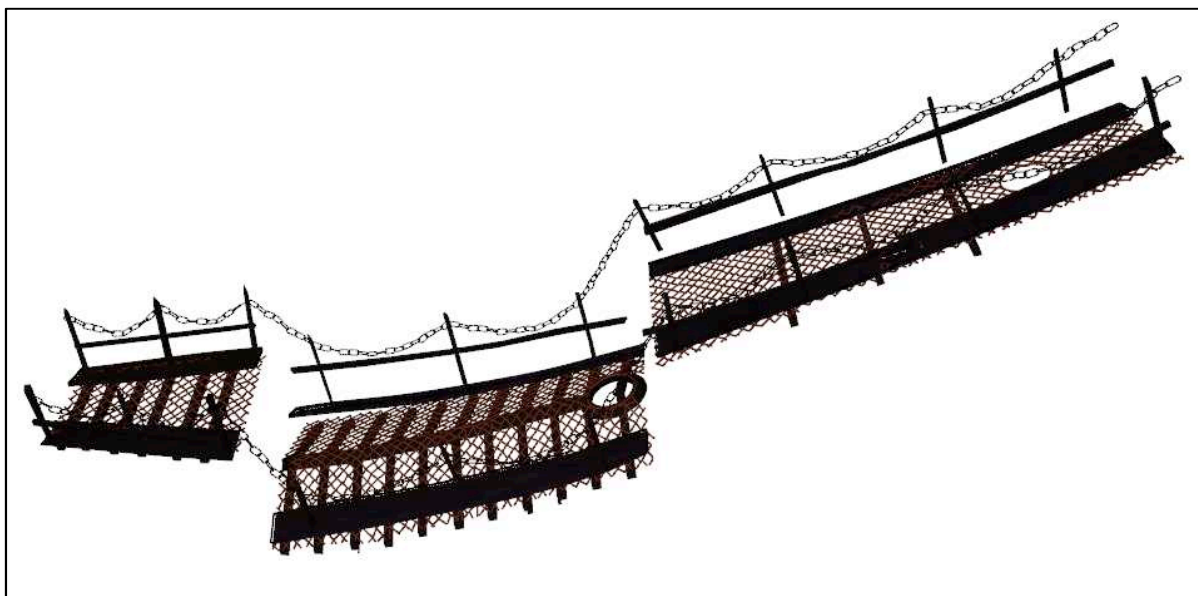


Figura 81. Cubierta



Figura 82. Cubierta de proa

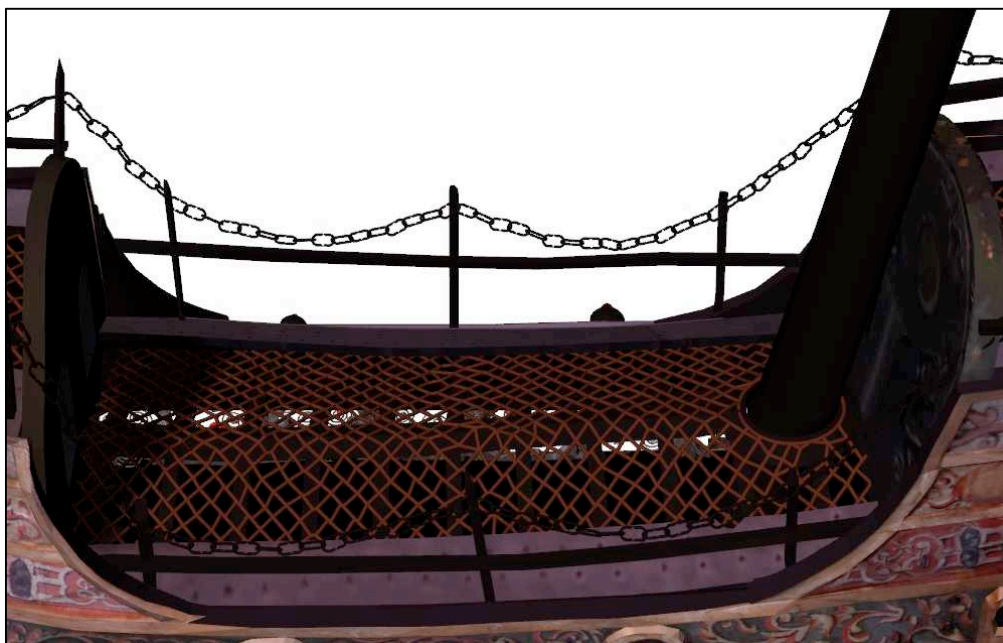


Figura 83. Cubierta central

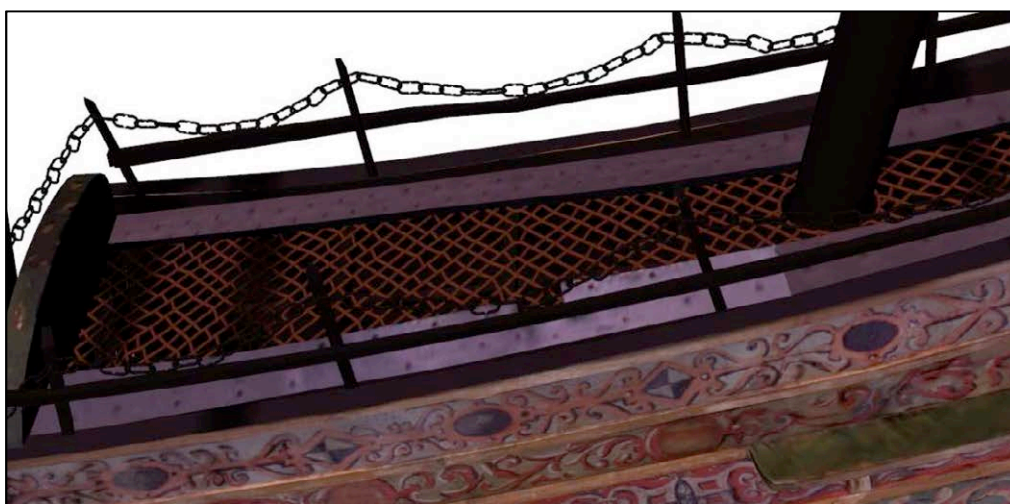


Figura 84. Cubierta de popa

3.7.2. Modelado de piezas

El Galeón Flamenco, única pieza de este estilo que se conserva de su época, además de su ser rica por su historia y exclusividad, lo es por la cantidad de piezas que recoge todo su conjunto, ya que está compuesta por distintos objetos que se repiten con ligeras modificaciones, para lo que se ha generado un modelo de cada uno de ellos y después se le han aplicado dichas modificaciones en su posición sobre el modelo tridimensional, siempre que estas fueran de transcendencia importante o afectase a la precisión requerida de la pieza.

Los principales objetos de este apartado son los de ornamentación (flores, cañones, etc.), así como los motones y algunas piezas del casco (fanal, piezas de unión de la arboladura). Todas estas piezas se ha generado por distintos medios (restitución y modelización), el contorno y la profundidad, como base y después se le ha generado o modificado para que se asemejase lo máximo posible al aspecto real.

Uno de los métodos que se ha seleccionado para la generación de las piezas regulares y cilíndricas, ha sido generar el contorno de cada pieza a partir de una imagen plana seleccionada a conciencia para que el objeto este bien visible y perpendicular a la toma, después se ha revolucionado el contorno obtenido por lo que se ha obtenido el volumen requerido. Una vez generado se le ha aplicado un material para que se asemejase al aspecto original de la pieza. Esto da lugar a que podamos ver representados los cañones (Figuras 85, 86, 87 y 88), las flores (Figura 89) y los botones de las flores (Figura 90).

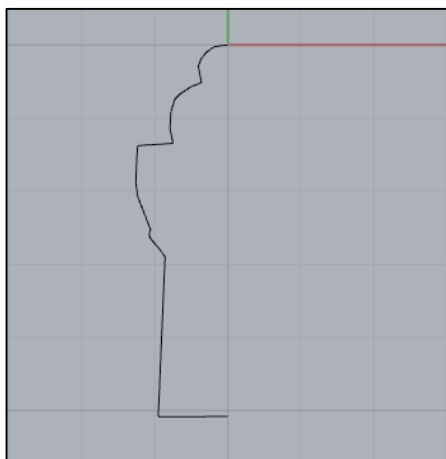


Figura 85. Contorno cañón

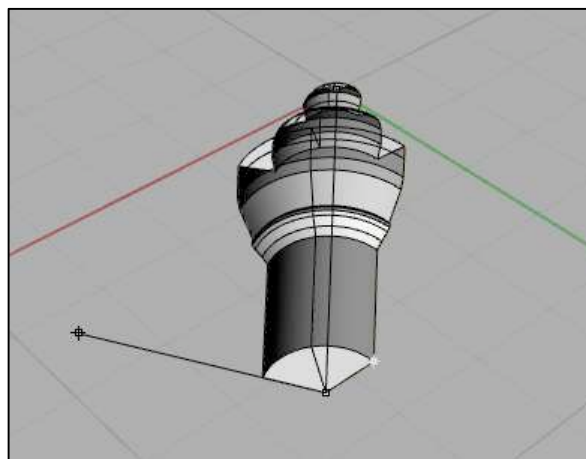


Figura 86. Proceso de revolución del cañón

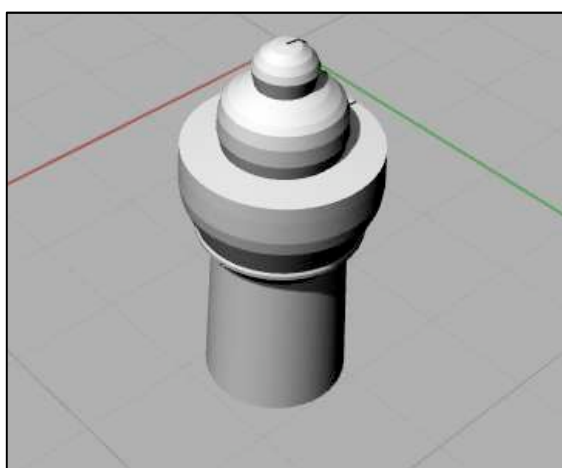


Figura 87. Revolución completa del cañón



Figura 88. Producto final del cañón

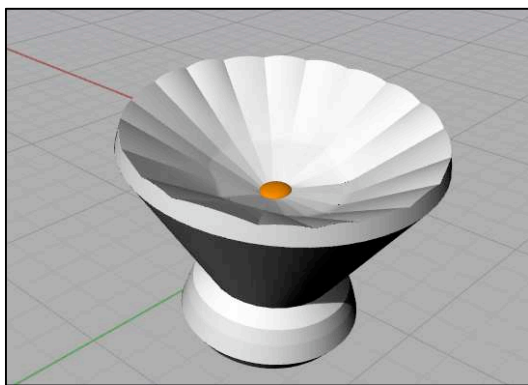


Figura 89. Producto final de una flor

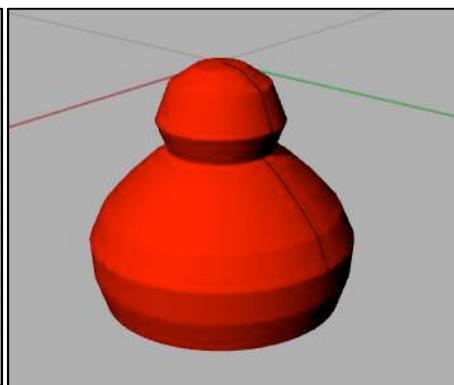


Figura 90. Producto final de un botón de una flor

Para estas piezas se requirió la restitución para fijar la dirección y posición en el espacio, para los cañones se han dado tres puntos en la base de unión con el casco, en el extremo más alejado y en la base de separación del extremo rojo y el cuerpo marrón del cañón (Figura 91). En cambio para las flores, se restituyó los distintos pétalos de la zona interna de la misma (Figura 92), así como distintos puntos de la pendiente que generaban estos y el punto central, que se acopló a la estructura de la base generada por otro método explicada anteriormente, en cuanto a su posición, se tomaron tres puntos de la circunferencia que genera el borde de cada flor para su colocación en el modelo. En los botones de las flores se tomó el extremo y tres puntos del borde contrario, lo que fijó la colocación real del mismo. Todas estas piezas tienen una unión o relación con las piezas espirales que explicaremos a continuación, por lo que en algunas de ellas se modificó ligeramente la posición para que la relación fuese lo más semejante a la real.

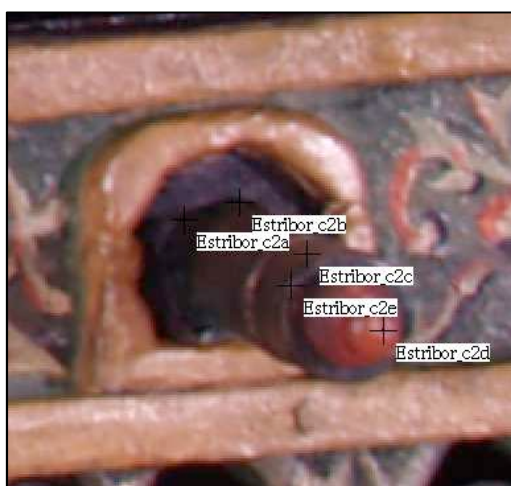


Figura 91. Restitución cañón

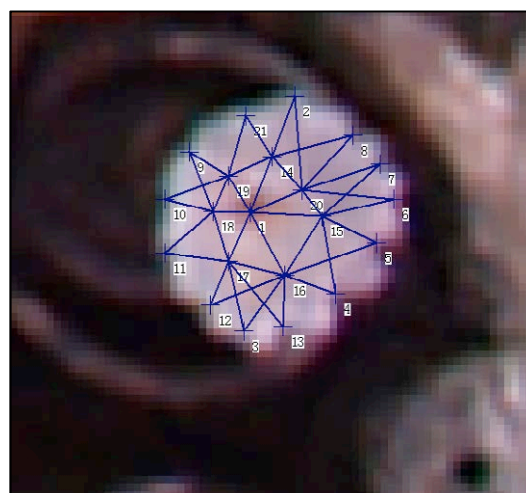


Figura 92. Restitución pétalos de una flor

Otra pieza genérica que se generó, fue la espiral que acabamos de citar, la cual se tomó el eje de una pieza lo más perpendicular a una toma y después se le generó un

volumen cilíndrico alrededor. Además, se formó una pieza central que nos sirve de unión con las piezas nombradas anteriormente (Figura 93 y 94). Su posicionamiento sigue el mismo patrón que las piezas de este apartado, por lo que se restituyeron tres puntos del contorno de la pieza, luego se giró de posición para que se realizaran las uniones con el casco de la pieza y así no fuesen piezas flotantes, siempre teniendo en cuenta las tomas de referencia.

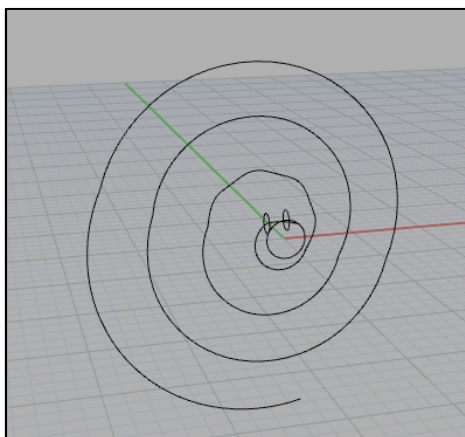


Figura 93. Eje espiral

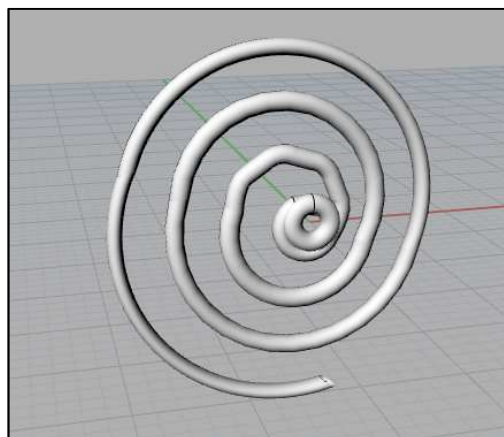


Figura 94. Producto final espiral

Por otro lado, a partir de la valla explicada en el apartado anterior vemos que en los extremos de la misma están unidos entre sí por una cadena de eslabones. Para lo cual se midió la posición de salida y el punto medio de cambio de trayectoria de la catenaria que forman. Para lo que se generó una curva de principio a fin por dichos puntos. Aparte se generó un patrón o malla de tres eslabones enlazados entre sí (Figura 95) del tamaño de un eslabón medido por el método de restitución, después se fue colocando dicho patrón a lo largo de la curva teniendo cuidado en el enlace entre sí, por lo que se colocaron de tres en tres, a lo largo de la curva hasta completar la cadena de principio a fin (Figura 96). En la toma fotográfica se puede apreciar que hay trozos de cadena rota, detalle el cual hemos omitido al no ser coherente la necesidad de mostrar dicho apartado como la original, ya que si la misma se reconstruyera, no creemos que se dejase rota.



Figura 95. Patrón cadena

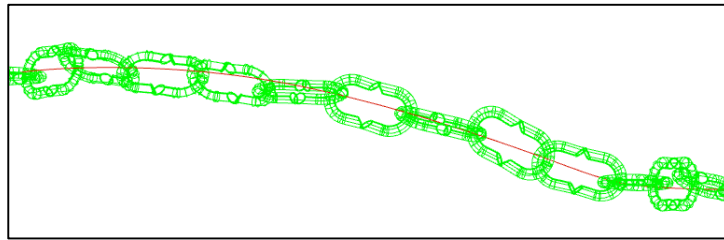


Figura 96. Patrón cadena por catenaria



Figura 97. Producto final de la barandilla y la cadena sobre casco

Otras piezas como los motones (poleas de las cuerdas utilizados en la jarcia de los navíos) y el fanal (el soporte donde se colocaba el farol de posición en la popa) han sido restituídas su contorno (una de cada tipo) y el volumen que ocupen de anchura, para genera la superficie de cara y la profundidad de la misma, al igual que se generó el cierre de los mástiles. Después los motones han sido colocados en la posición destinada entre cuerdas o sobre cuerdas, tal y como están en la pieza (Figura 100). Los objetos desde los cuales se generaron los patrones ya estaban en su posición original, por lo que la pieza como el fanal está en su posición original (Figuras 98 y 99).



Figura 99. Fanal desde popa



Figura 100. Fanal desde estribor

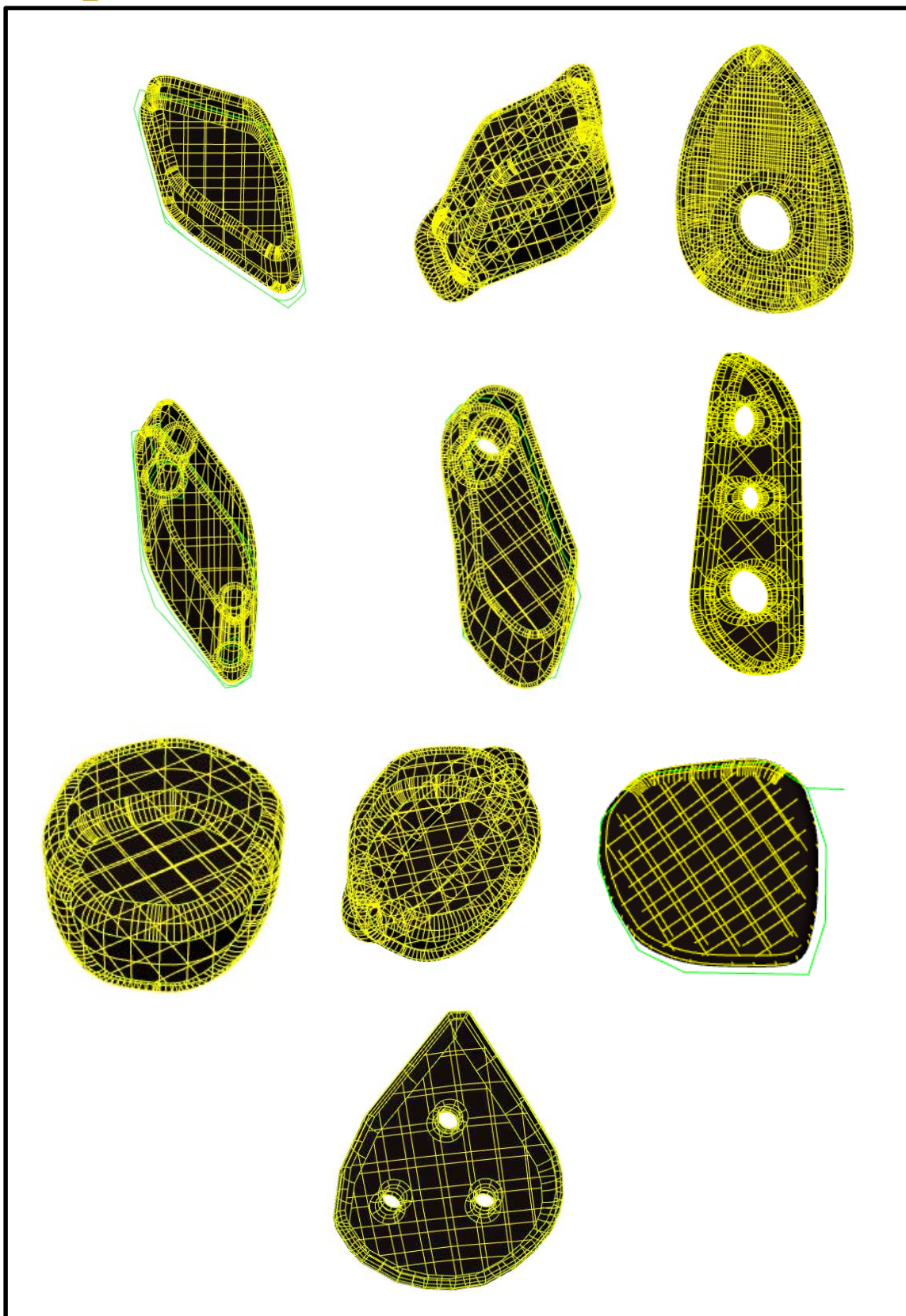


Figura 98. Todos los tipos de motones

4. Producto final

En este apartado se llevará a cabo un recorrido visual del resultado obtenido en el presente proyecto, realizando la siguiente clasificación:

- Vistas generales del modelado tridimensional final
- Comparativa de imágenes de la toma con imágenes del modelado tridimensional final
- Detalles característicos de distintas zonas del modelado tridimensional final

4.1 Vistas generales del producto final

En primer lugar, como muestra de lo obtenido a lo largo de todo el procedimiento realizado, por eso es importante realizar una exposición desde distintos puntos de vista.

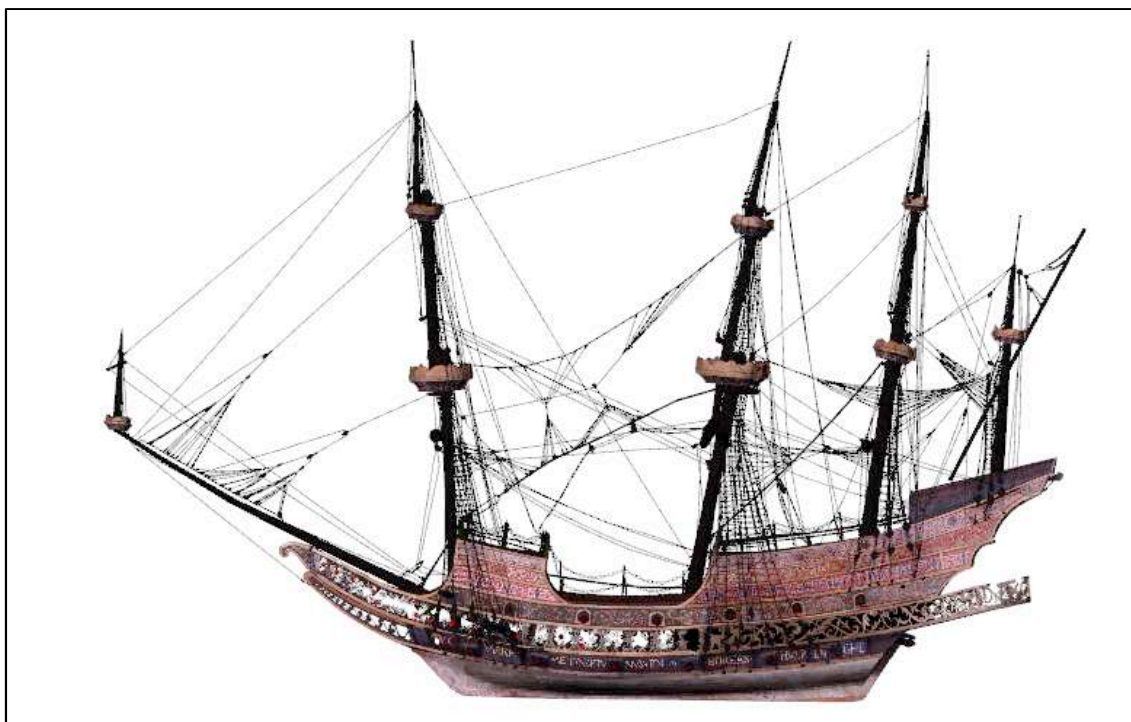


Figura 101. Vista final de babor

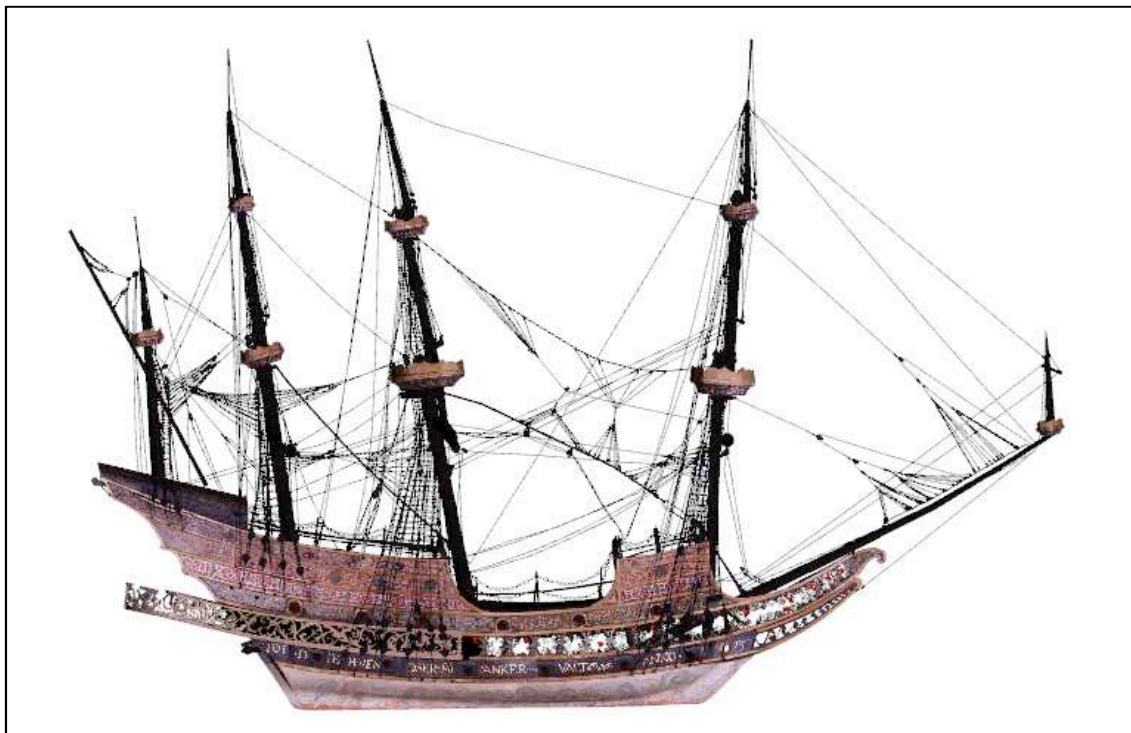


Figura 102. Vista final de estribor

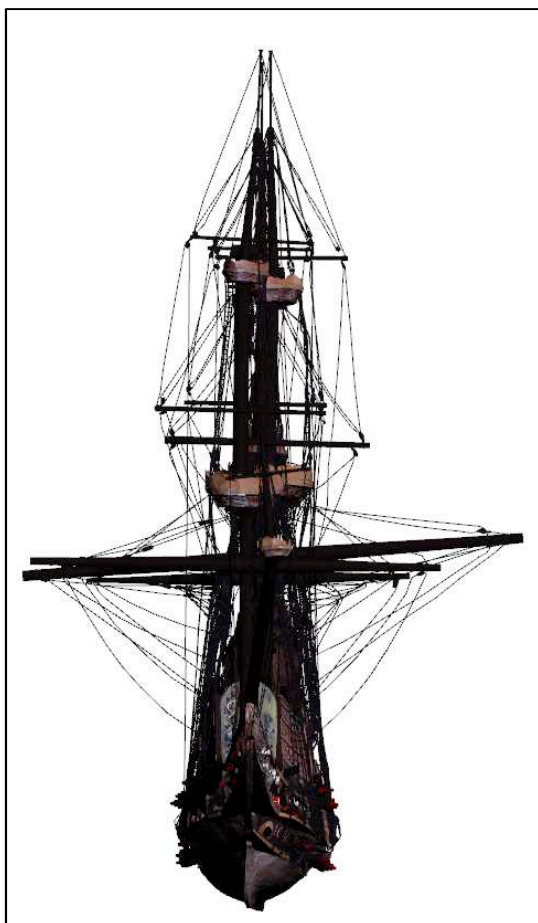


Figura 103. Vista final de proa



Figura 104. Vista final de popa

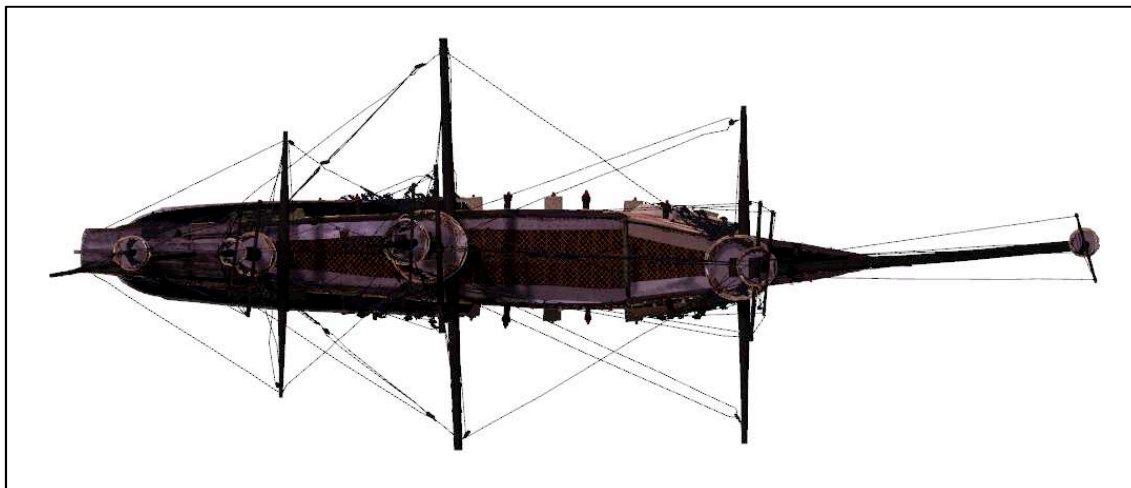


Figura 105. Vista final de la cubierta

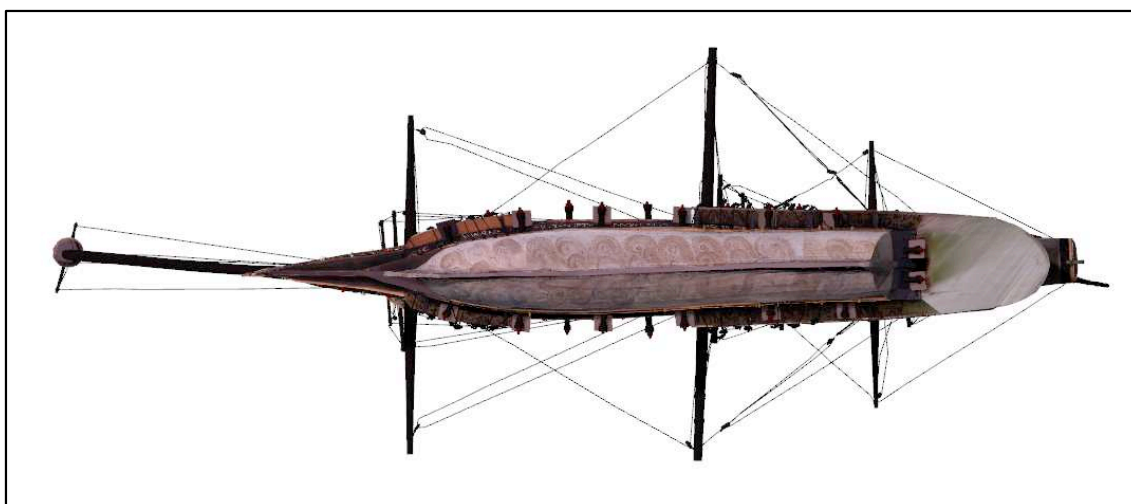


Figura 106. Vista final del casco

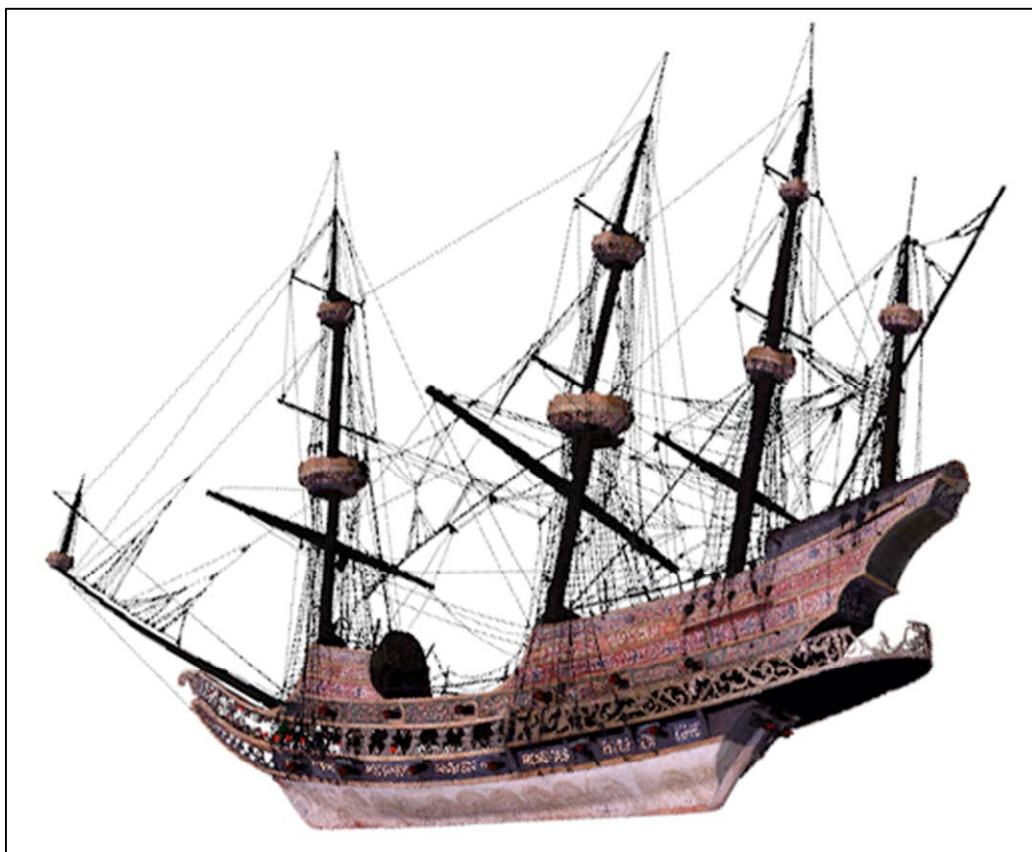


Figura 107. Vista en perspectiva final 1

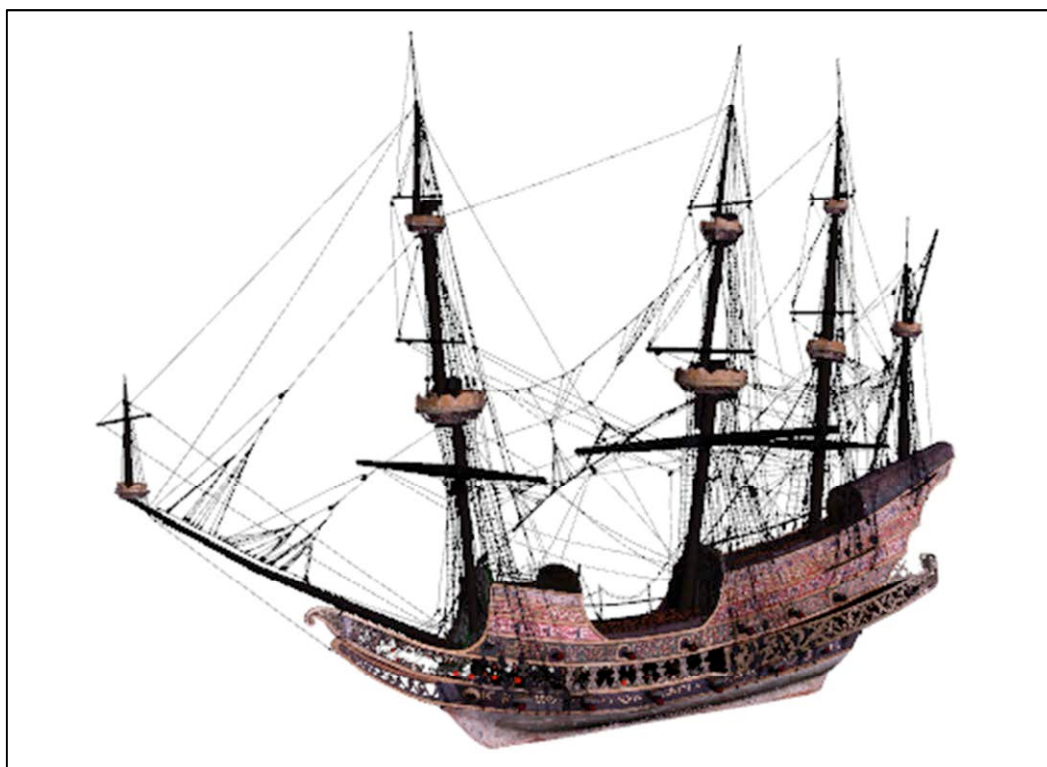


Figura 108. Vista en perspectiva final 2



Figura 109. Vista en perspectiva 3

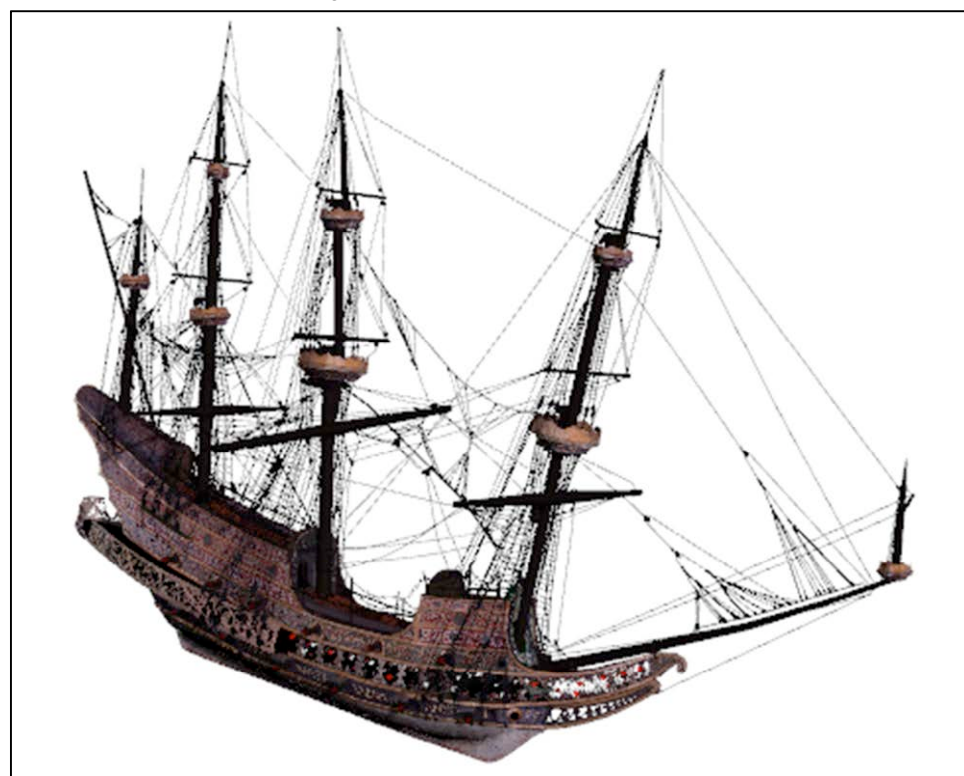


Figura 110. Vista en perspectiva 4

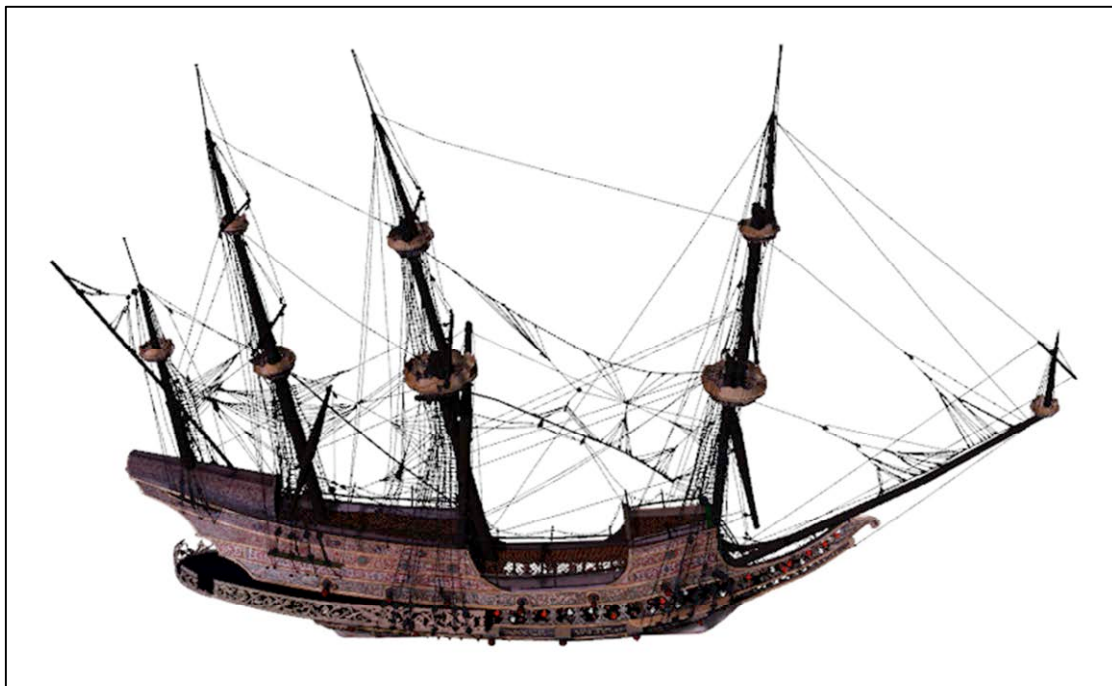


Figura 111. Vista en perspectiva 5

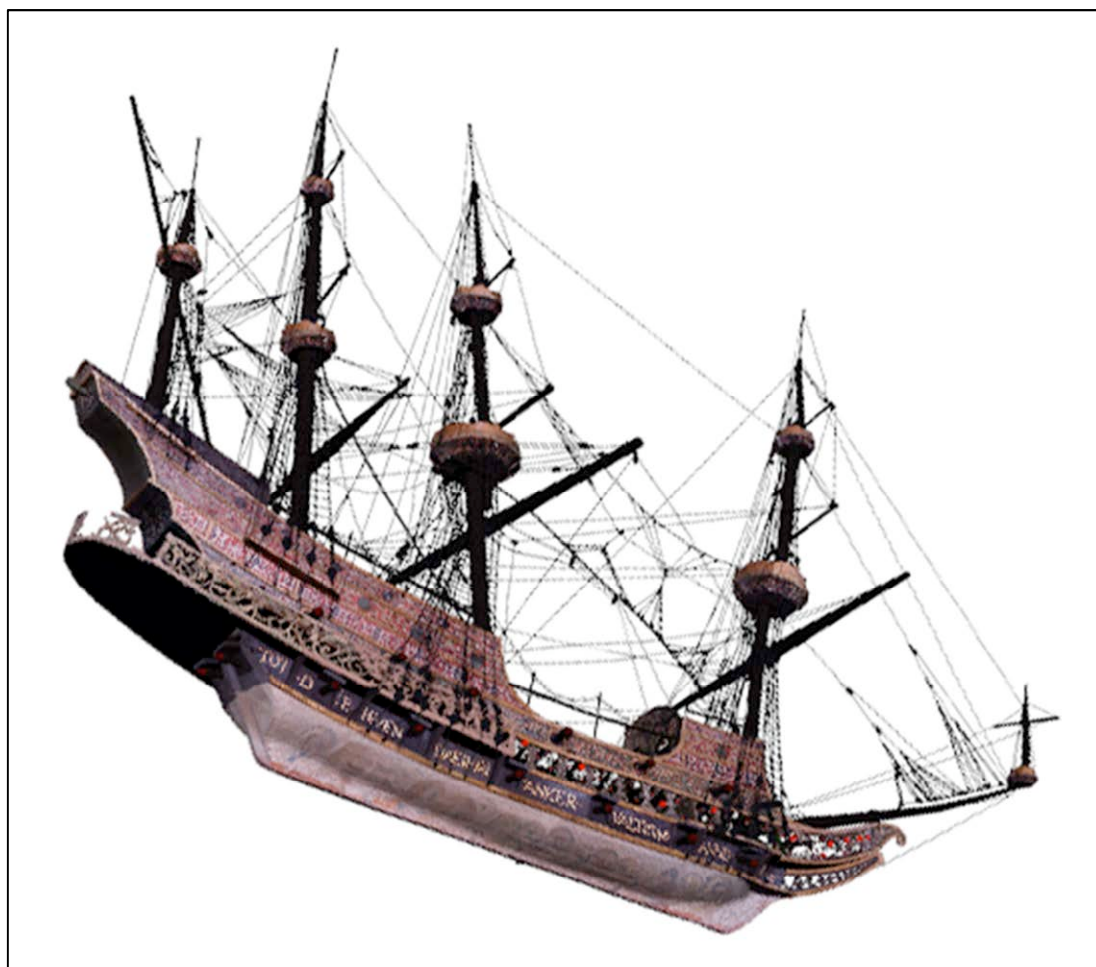


Figura 112. Vista en perspectiva 6



Figura 113. Vista en perspectiva 7



Figura 114. Vista en perspectiva 8

4.2 Detalles del producto final

Por último, se muestran distintos detalles de la pieza para poner de relieve el valor que posee la pieza que se ha generado y que es conveniente mostrar en el marco en el que se encuentran.

Esta galería fotográfica está compuesta por un recorrido cercano de la pieza mostrando la jarcia con la arboladura y luego el casco.

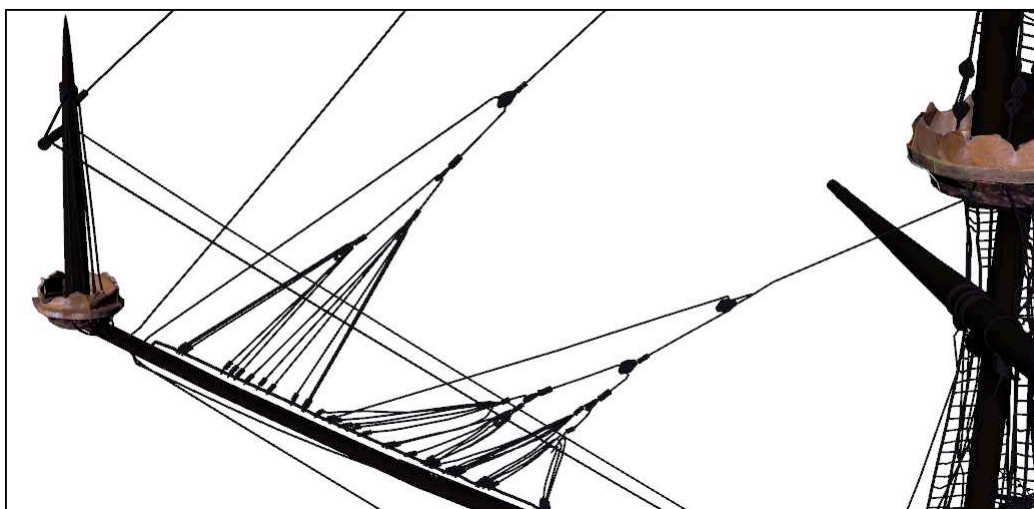


Figura 115. Detalle de jarcia y arboladura 1



Figura 116. Detalle de jarcia y arboladura 2



Figura 117. Detalle de jarcia y arboladura 3

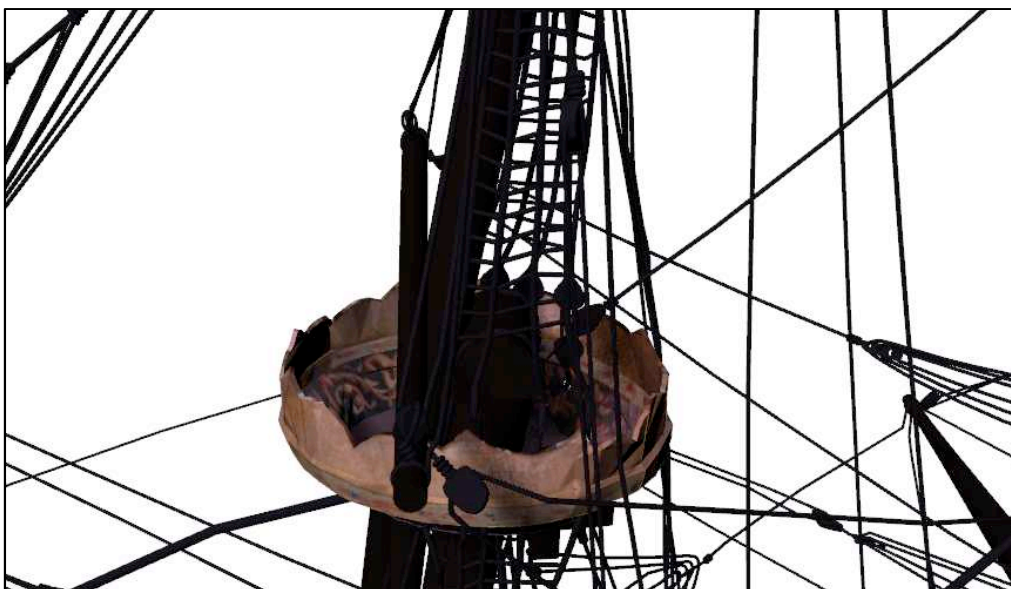


Figura 118. Detalle de jarcia y arboladura 4

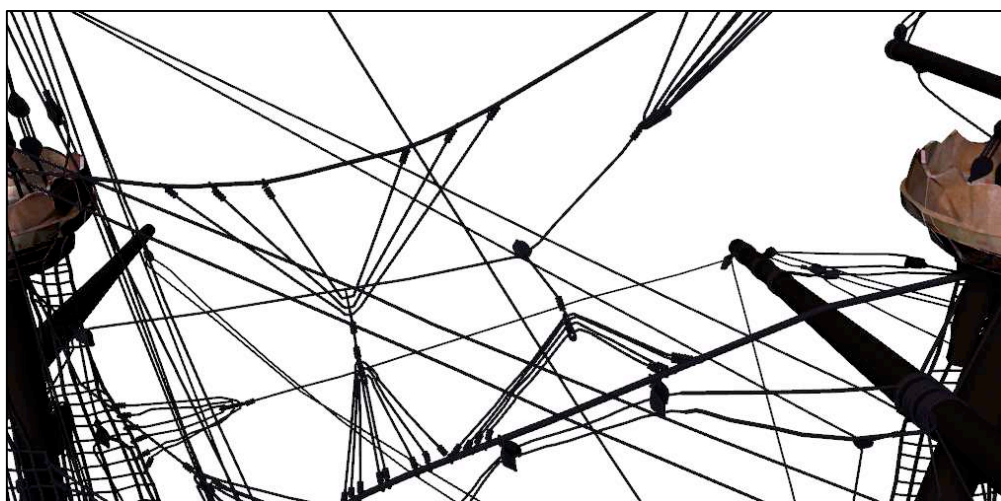


Figura 119. Detalle de jarcia y arboladura 5



Figura 120. Deetalle de jarcia y arboladura 6



Figura 121. Detalle de jarcia y arboladura 7

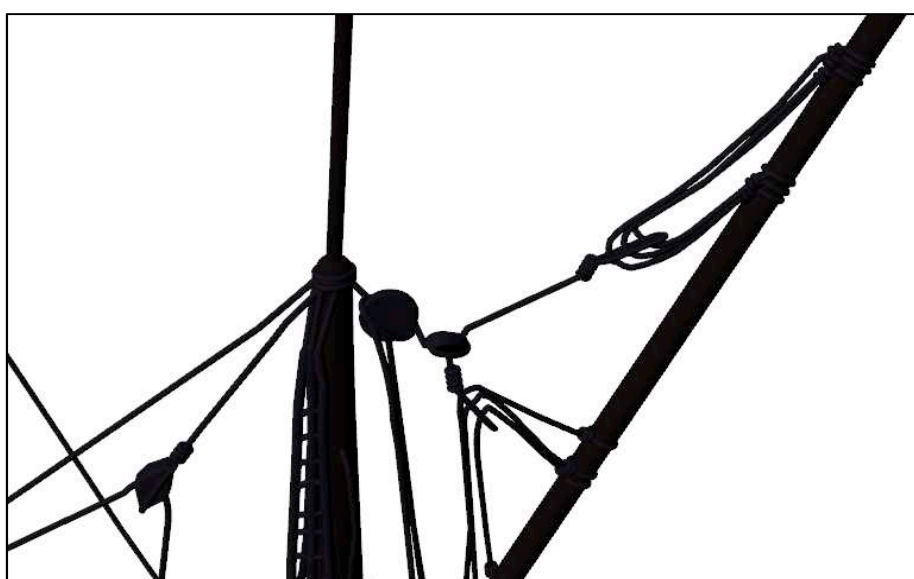


Figura 122. Detalle de jarcia y arboladura 8



Figura 123. Detalle de cubierta 1

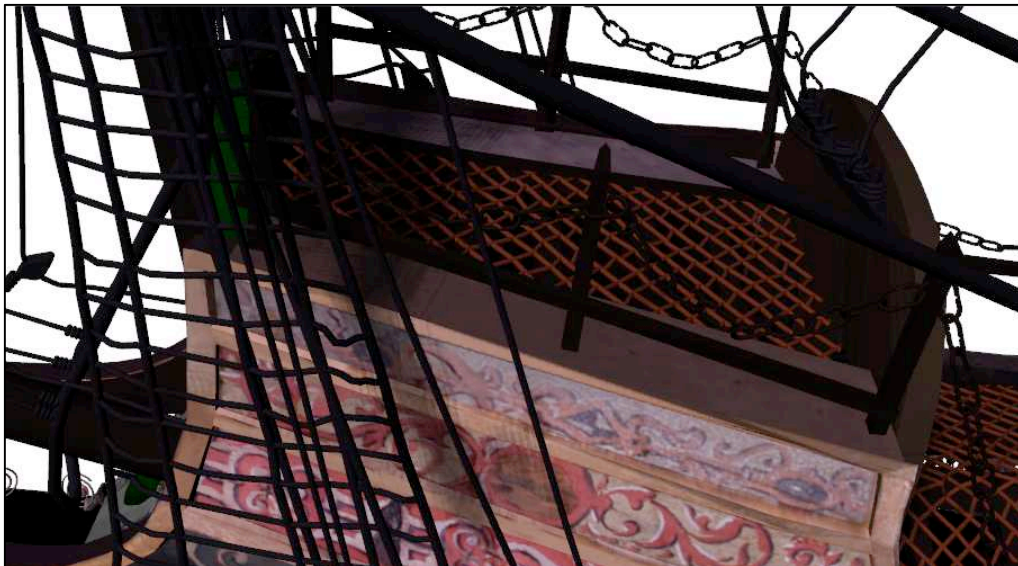


Figura 124. Detalle de cubierta 2



Figura 125. Detalle de cubierta 3



Figura 126. Detalle del casco 1

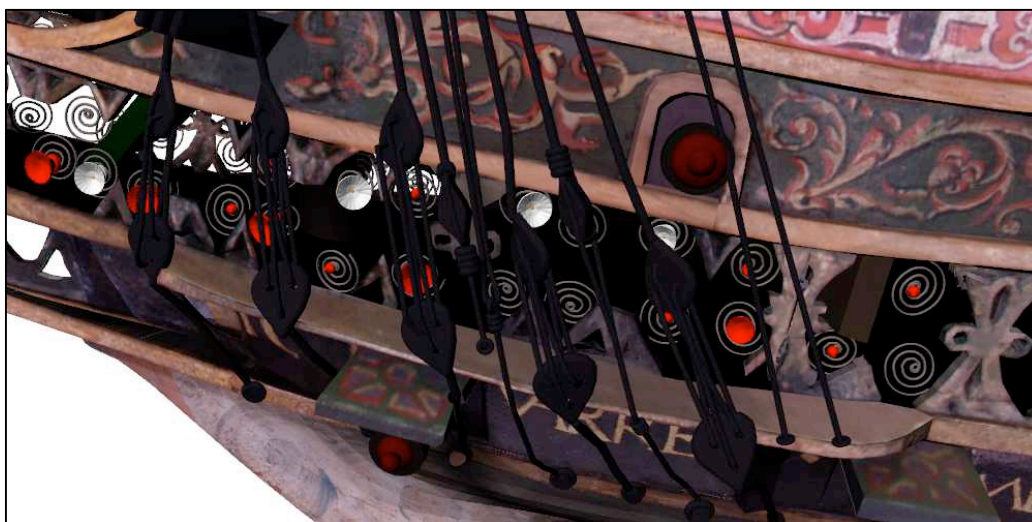


Figura 127. Detalle del casco 2



Figura 128. Detalle del casco 3

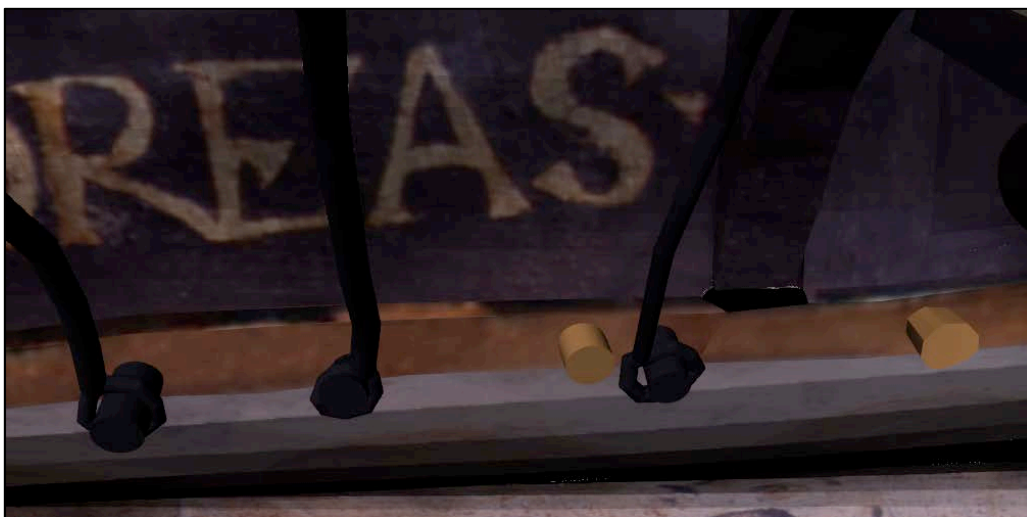


Figura 129. Detalle del casco 4



Figura 130. Detalle del casco 5



Figura 131. Detalle del casco 6

4.3 Comparativa de la toma y el producto final

En este apartado se realiza un pequeño estudio o comprobación de que el producto final es de gran precisión y semejanza a la pieza original. Las tomas del producto final se generaron intentando que fueran lo más parecidas a la realidad.

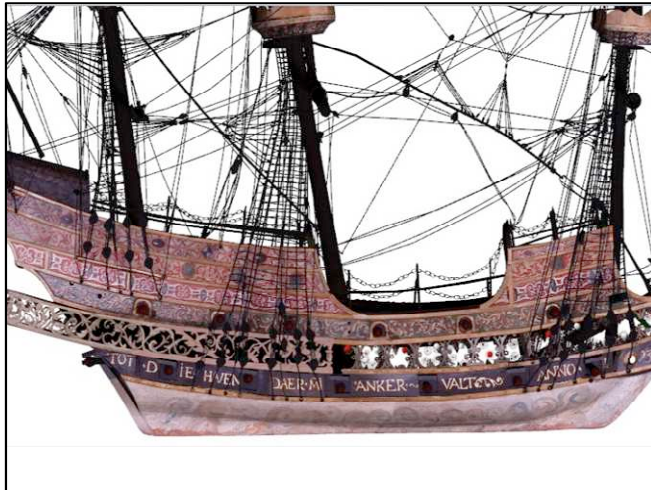


Figura 132. Casco modelizado de estribor



Figura 133. Casco imagen de estribor

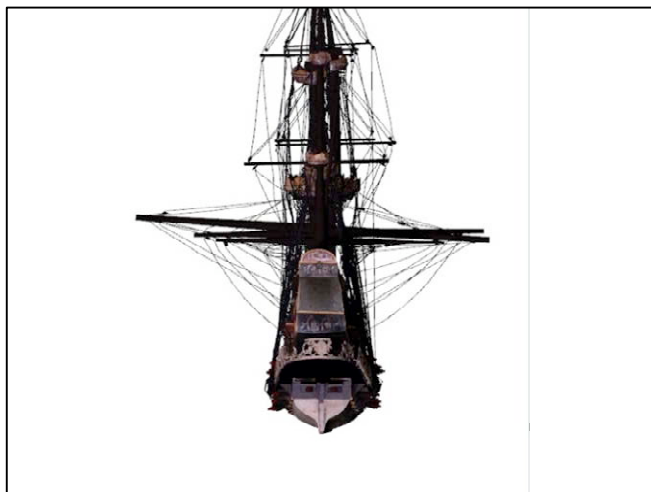


Figura 134. Popa modelizada



Figura 135. Popa imagen

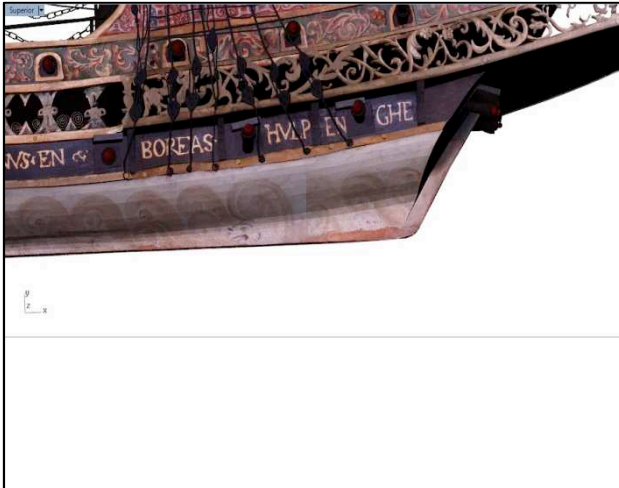


Figura 136. Panza modelizada de babor-popa

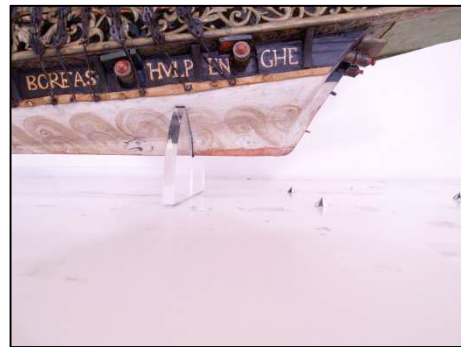


Figura 137. Panza imagen de babor-popa



Figura 138. Arboladura modelizada de babor



Figura 139. Arboladura imagen de babor



Figura 140. Arboladura modelizada de proa



Figura 141. Arboladura imagen de proa

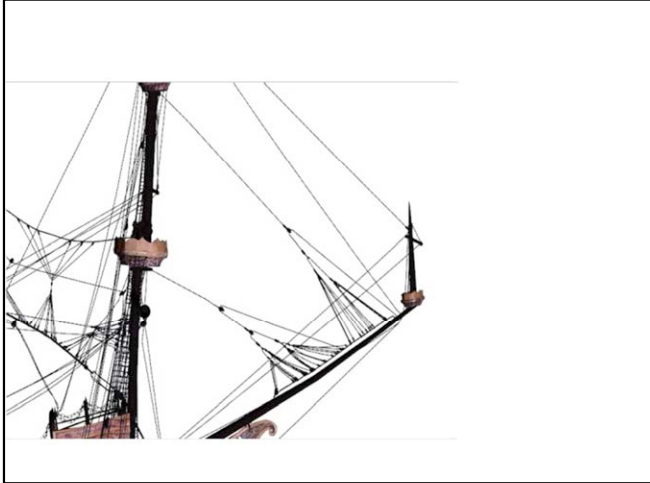


Figura 142. Arboladura modelizada de estribor-proa



Figura 143. Arboladura imagen de estribor-proa

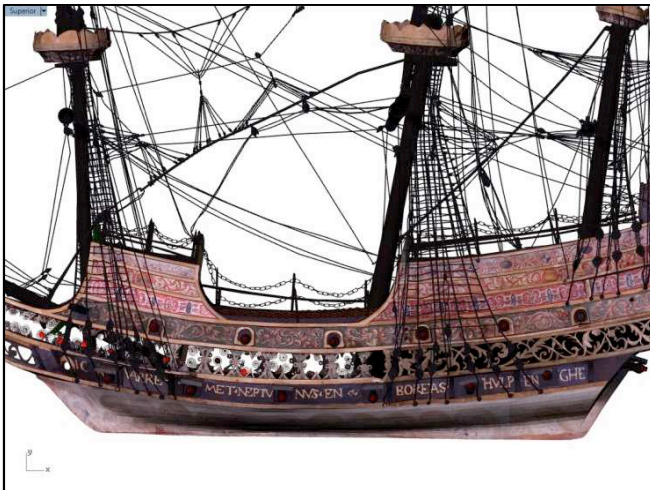


Figura 144. Casco modelizado de babor



Figura 145. Casco imagen de babor



Figura 146. Panza modelizada de estribor-proa



Figura 147. Panza imagen de estribor-proa

5. Presupuesto

- Tabla de costes por hora en recursos humanos (estableciendo los costes por horas según la situación actual del mercado)

Recursos Humanos	€/hora
Ingeniero Técnico en Topografía (campo)	50
Ingeniero Técnico en Topografía (gabinete)	30
Técnico de Restitución	16
Técnico de edición	11

- Tabla con costes totales en recursos humanos

Recursos Humanos	Horas totales	€/hora	Cantidad	Total €
Ingeniero Técnico en Topografía (campo)	7	50	3	1.050,00
Ingeniero Técnico en Topografía (gabinete)	50	30	1	1.500,00
Técnico de Restitución	576	16	2	18.432,00
Técnico de edición	320	11	1	3.520,00
				24.502,00

- Tabla de costes de materiales por precio unitario

Tipo	Concepto	Precio unitario	Cantidad	Días	Total €
MATERIAL FOTOGRAMETRICO	Cámara fotográfica	25	1	2	50,00
	Trípode	5	1	2	10,00
	Focos	16	3	1	48,00
MATERIAL TOPOGRAFICO	Estación Leica WILD TC-2000	65	1	1	65,00
	Estación Leica WILD TC-2002	65	1	1	65,00
	Trípode de uso industrial	25	2	1	50,00
	Barra Calibrada	65	1	1	65,00
	Ordenador	2	3	120	720,00
	Computadora de datos Leica link-8	40	1	1	40,00
					1.113,00

- Tabla de costes de Licencias por precio unitario

Concepto	Precio unitario	Días	Total €
Software Leica Axyz 1,4	6	1	6,00
Software Image Master	10	90	900,00
Software Rhinoceros	3,62	45	163,05
Software Photoshop	2,88	20	57,53
			1.126,58

- Tabla resumen del presupuesto

Concepto	Total €
Recursos Humanos	24.502,00
Materiales	1.113,00
Licencias de Software	1.126,58
	26.741,58

	Parcial	Total €
Beneficio empresarial (15%)	4.011,24	30.752,82
IVA (21%)	6.458,09	37.210,92
Precio Total con IVA		37.210,92

6. Conclusiones

- El proyecto mostrado se trata de un trabajo real, donde hemos podido indagar y poner en práctica los conocimientos de Fotogrametría y Topografía obtenidos en la carrera.
- Dentro de la Topografía, al tratarse de un objeto de pequeñas dimensiones que además exige una precisión en función de este tamaño, se tomó la decisión de usar las técnicas de medición de la Topografía Industrial, que permite, dado el material del que disponemos, la obtención de unos valores comprobados in-situ (coordenadas y residuos dimensionados por debajo de la tolerancia preestablecidas) y almacenados en formato digital para su posterior utilización en la Orientación Externa Fotogramétrica sin necesidad de un cálculo en post-proceso.
- La utilización de técnicas de Topografía Industrial además permitió la realización automática de una transformación de coordenadas, a un sistema de referencia centrado en la pieza que evita el trabajo con coordenadas negativas. Por lo tanto, los avances en esta rama de Topografía para nuestra finalidad nos han reducido tiempo con la seguridad de que el trabajo era correcto.
- El uso de la técnica de Fotogrametría empleada en nuestro proyecto, para la catalogación e inventariado de piezas sin la necesidad de una modelización urgente, es debido a que la fuente de información usada es la fotografía, perdurable en el tiempo. Con esta metodología, se pueden realizar trabajos de captación de imágenes y desarrollo de modelos y atrasarlos en el tiempo en función de las situaciones económicas, humanas u otra índole.
- La elección de la Fotogrametría como técnica de trabajo frente a otras metodologías, es debido a que se quería obtener las líneas características del barco y no una nube de puntos.
- Otra ventaja de la Fotogrametría como método empleado radica en que se podría haber obtenido una precisión superior del modelo tridimensional, modificando los parámetros a priori de la toma de datos como distancia al objeto, número de fotografías, número de pasadas, etc. De manera que todos estos parámetros determinarían el tamaño del pixel en el terreno (GSD).
- Como se ha demostrado, el empleo de cámaras no métricas para la ejecución del levantamiento y modelización tridimensional de este tipo de piezas supone un abaratamiento en los costes y sin que la precisión se resienta demasiado, en comparación con cámaras métricas o sistemas de escáner laser de corto alcance.
- Como en las cámaras no métricas no se conocen sus parámetros internos y su comportamiento en el tiempo es inestable, es fundamental realizar un correcto proceso de calibración geométrica en cada proyecto realizado, en función de las características geométricas del mismo y según la metodología verificada y contrastada.
- La realización del proyecto con tomas normales permitió el empleo de la visión estereoscópica, esta técnica es muy favorable para la extracción de elementos con

una dificultad de acceso visual dentro del modelo. Puesto que no teníamos tomas superiores, el empleo de toma convergente fue necesario para poder restituir en las zonas interiores. Además, como el apoyo fotogramétrico sólo se pudo realizar por dos caras del barco, las tomas oblicuas fueron esenciales para las uniones de las pasadas y ajuste del modelo.

- El tiempo para la orientación en el software Image Master fue excesivamente grande debido a la cantidad de información empleada (fotografías), puesto que es lo primero que se realiza, ajustando el modelo entero para después realizar la restitución. Pero habría que añadir que el software Image Master nos facilitó el cierre completo de la pieza, tanto en la orientación como en la restitución. Si lo hubiéramos realizado en otro software hubiéramos tenido que realizar otra organización del trabajo, la restitución de la pieza “en relativas” y después realizar transformaciones tridimensionales de modelos hasta llegar al sistema local final.
- En nuestro proyecto no pudimos utilizar la correlación para la generación de superficies, este fue debido, entre otras razones, a la gran cantidad de cuerdas que poseía la jarcia de la pieza.
- El trabajo en el software Rhinoceros 5.0 para la generación del modelo tridimensional fue muy útil pero a la vez muy pesado, por lo que se decidió la realización del modelo por partes, debido al peso del fichero y la capacidad del ordenador para moverlo.
- El empleo de Adobe Photoshop CS5 para el tratamiento de las texturas, fue muy cómodo, aunque tuvo dos inconvenientes. Debido a la posición de los focos teníamos fotografías con diferentes brillos, por lo que fue muy difícil igualar todo el modelo y por último, debido a la escasez de tiempo en la toma y en el estudio previo de la misma (pieza situada sobre metacrilato para su exposición en el museo) no tuvimos fotografías para corregir las texturas afectadas por zonas ocultas.

7. Bibliografía

- Museo Naval- “10 piezas clave, Modelo de galeón flamenco”.
http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowPropertyServlet?nodePath=/BEA%20Repository/Desktops/Portal/ArmadaEspañola/Pages/ciencia_museo/02_museo-museo-naval/03_coleccion/01_10_piezas_clave/01_10_piezas_clave_es/arc_02_modelo_galeon_flamenco
- Dayer (21 de julio de 2013) - “Museo Naval de Madrid”.
<http://elhistorias.com/2013/07/21/museo-naval-de-madrid/>
- Luis Jáuregui – “Introducción a la fotogrametría”.
<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CA/PITULO1.pdf>
- Javier Blanco González y Lorenzo Mena García (2014) - “Modelización tridimensional de una figura por métodos fotogramétricos y escaneado de precisión. Verificación y comparación de resultados”. <http://oa.upm.es/30250/>
- Gallardo, E. (2013) – “Modelización tridimensional de la pieza MNM-23 del Museo Naval de Madrid por métodos fotogramétricos”. Proyecto Fin de Carrera. ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM). <http://oa.upm.es/22188/>
- Centro Virtual Cervantes.
http://cvc.cervantes.es/actcult/museo_navial/sala2/navios/navios_22.html
- http://www.isprs.org/proceedings/xxxiii/congress/part4/356_XXXIII-part4.pdf
- Robert McNeel & Associates (12 mayo 2014) “Rhino3d 5 – Manual de usuario para Windows”. <http://rhino3d.com/tutorials>
- Julián Aguirre de Mata y Andrés Díez Galilea- Apuntes de Fotogrametría.
- José Juan Arraz Juste y Carlos Soler García -Apuntes de Topografía II.
- Emma Barrio Losada y Rosa Mariana Chueca Castedo - Apuntes de Aplicaciones Industriales.
- Axyz Data Manager: Software Reference Manual para Axyz v. 1.4 (Dr. Stephen Kyle, Enero 2000 - Ref. 722 233).
- Manual de formación de Axyz para Estación Total para Axyz v. 1.2 (Maya Höslí, Paul Rivoire, Dr. Stephen Kyle, Thomas Rietze, 1994 - Ref. 712 654).
- Topcon Positioning System (2008) – “Operation Manual – Image Master”



8. ANEXOS

ANEXO I. Cálculos topográficos y fotogramétricos

Debido a las amplias dimensiones de los cálculos, estos se insertará en formato digital, en un CD que incluye esta memoria.

ANEXO II. Reseñas

Solo se realiza la impresión en señal de muestra de la reseña 2036, las demás estarán incluidas en el CD con el resto de los anexos completos.

ANEXO III. Planos

- Planos planta cubierta
- Plano planta casco
- Plano alzado estribor
- Plano alzado babor

ANEXO IV. Secciones

- Distribución de secciones
- Sección longitudinal
- Secciones transversales



ANEXO II. Reseñas

RESEÑA GALEÓN FLAMENCO 2036

13-enero-2014

Datos numéricos de la reseña:

Nº de punto: 2036

Coordenadas sistema local barco:

X= 11.295,135 mm

Y= 10.395,290 mm

Z= 10.038,837 mm

Leyenda:

El punto está situado la parte superior derecha de la borda en babor, en el detalle superior de la misma, en la zona del castillo de popa. La puntería se realiza en un agujero que se produce en el último detalle de color rojo.

Distribución:

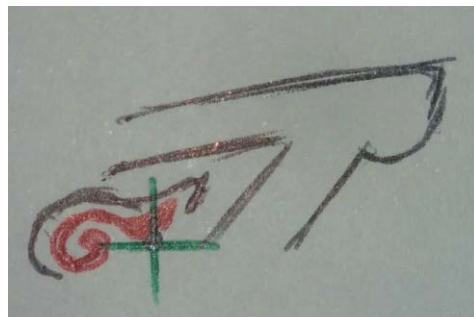


Popa-Babor

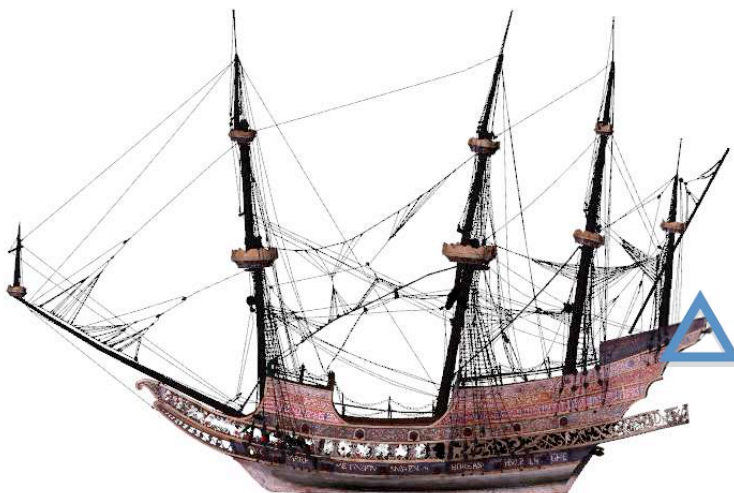
Foto de detalle:



Croquis a mano:

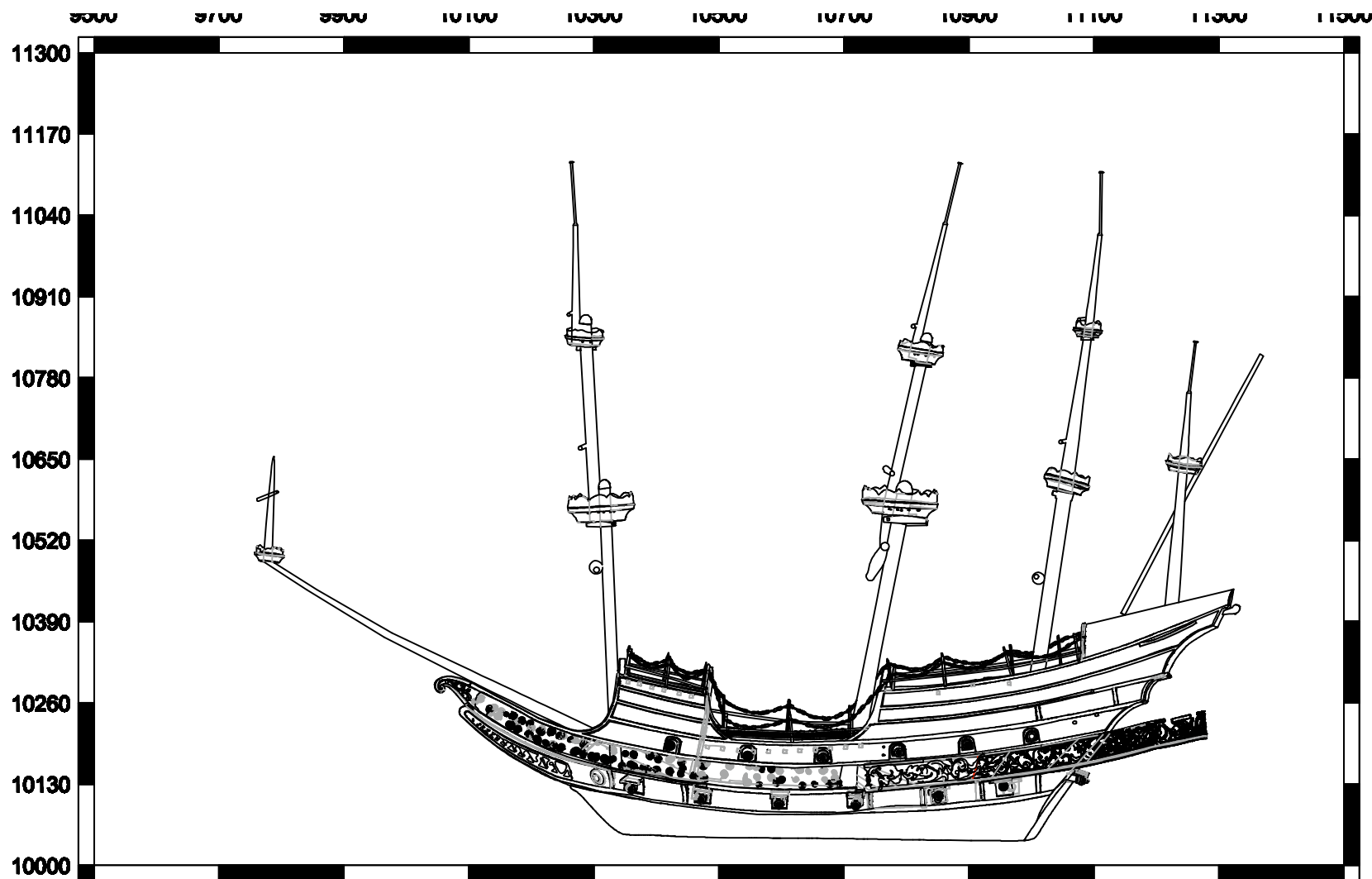


Croquis o plano de situación:





ANEXO III. Planos



MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL GALEÓN FLAMENCO DEL MUSEO NAVAL
DE MADRID POR MÉTODOS FOTOGRAFÉTRICOS (JARCIA Y ORNAMENTACIÓN)

Título: Plano de babor

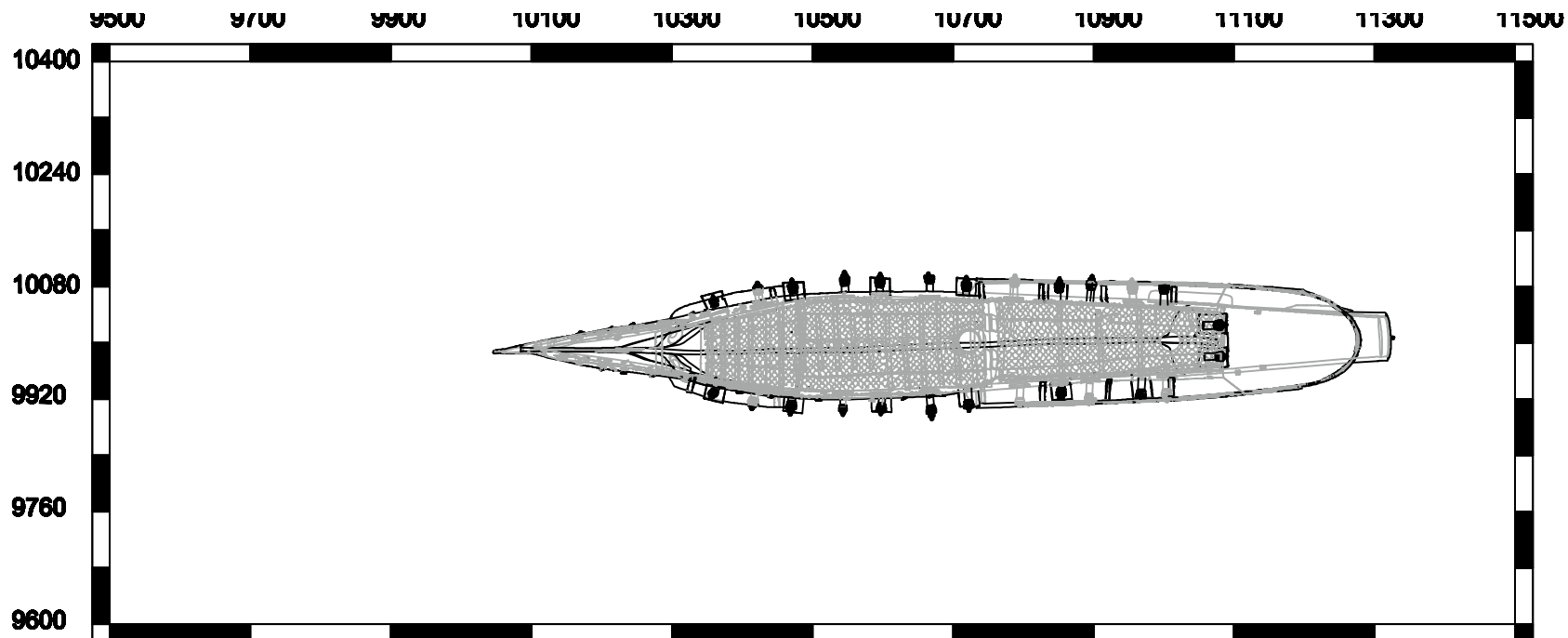
Escala: 1/10

Fecha: 28/07/2014

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada

E.T.S.I. Topografía,
Geodesia y Cartografía





MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL GALEÓN FLAMENCO DEL MUSEO NAVAL
DE MADRID POR MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS (JARCIA Y ORNAMENTACIÓN)

Título:

Plano de casco

Escala: 1/10

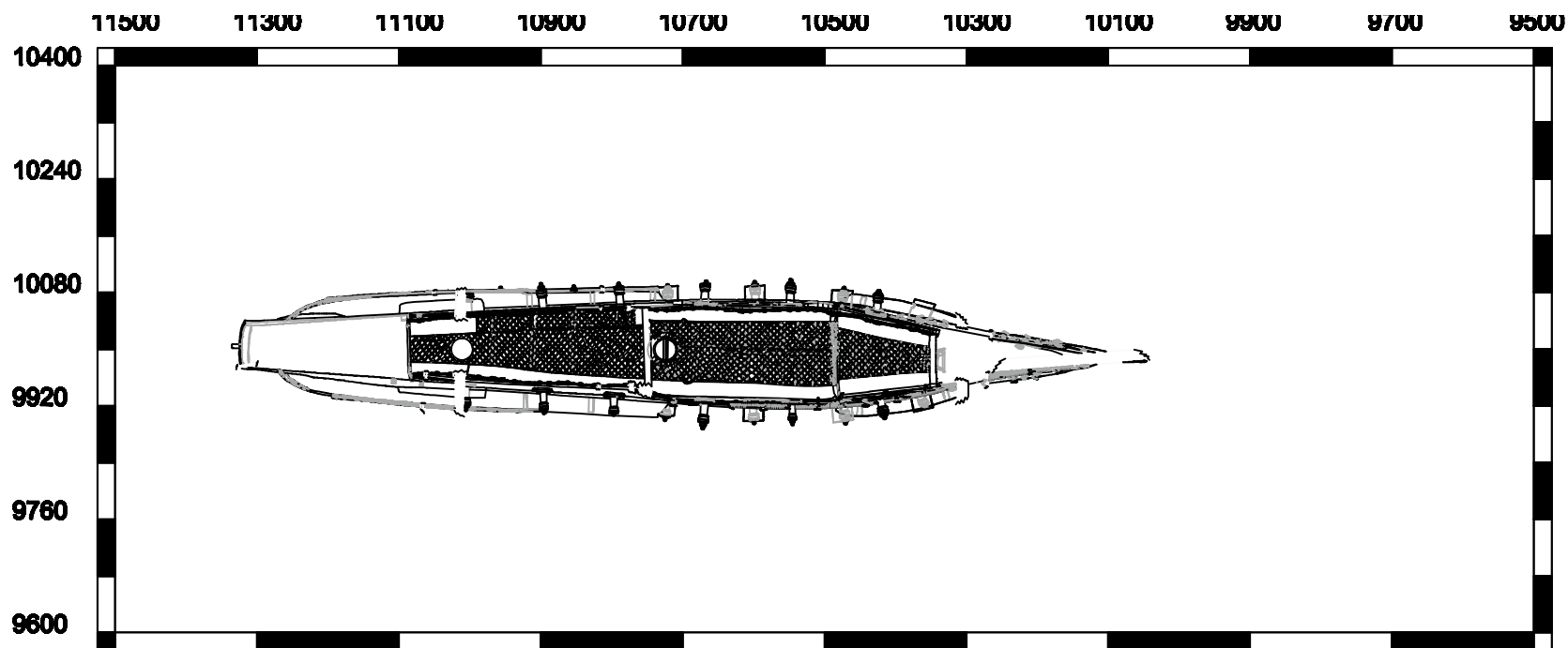
Fecha: 28/07/2014

Alumnos:

Ángela Jiménez Estrada

E.T.S.I. Topografía,
Geodesia y Cartografía





MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL GALEÓN FLAMENCO DEL MUSEO NAVAL
DE MADRID POR MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS (JARCIA Y ORNAMENTACIÓN)

Título:

Plano de cubierta

Escala: 1/10

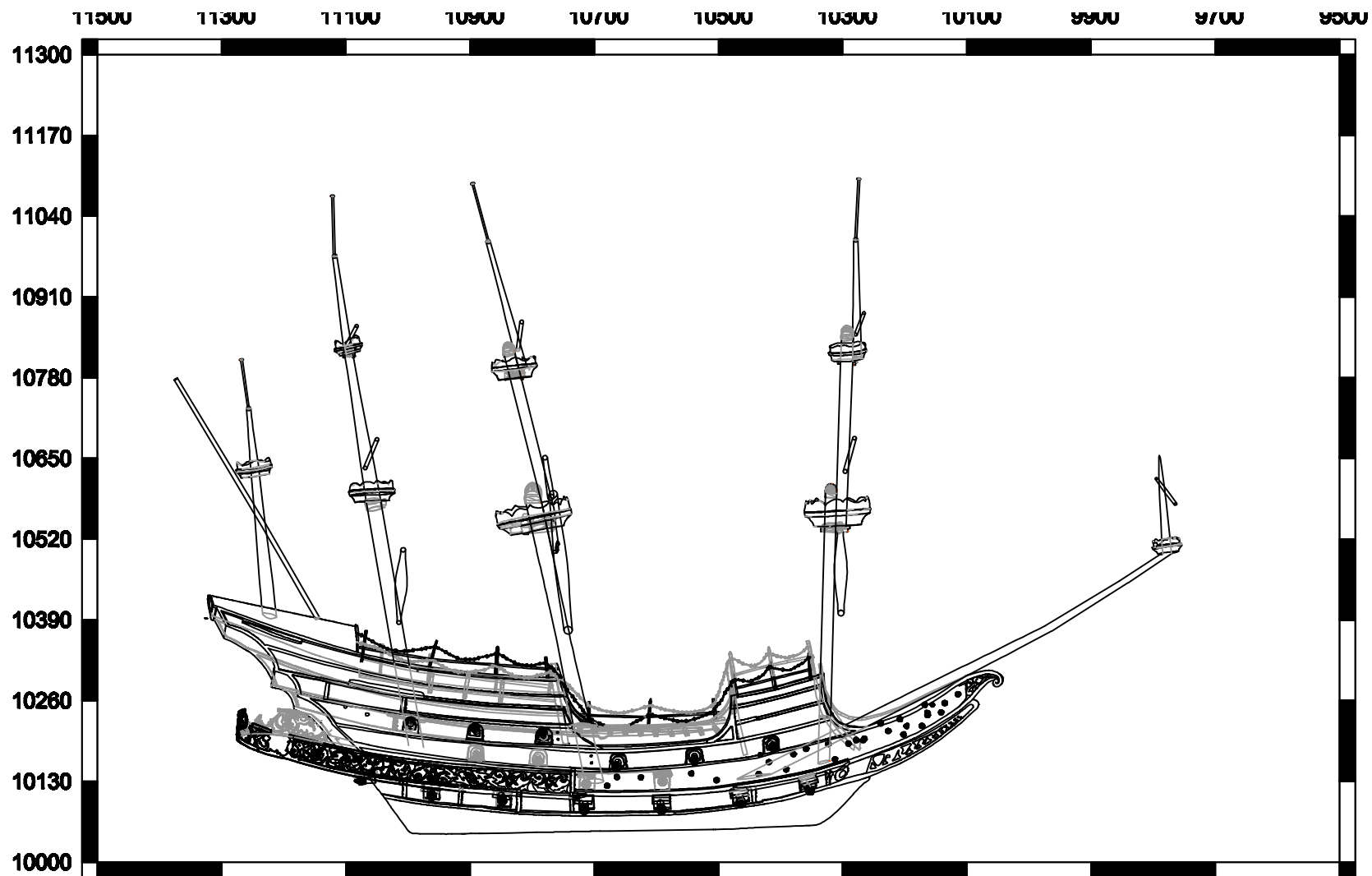
Fecha: 28/07/2014

Alumnos:

Ángela Jiménez Estrada

E.T.S.I. Topografía,
Geodesia y Cartografía





MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL GALEÓN FLAMENCO DEL MUSEO NAVAL
DE MADRID POR MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS (JARCIA Y ORNAMENTACIÓN)

Título:

Plano de estribor

Escala: 1/10

Fecha: 28/07/2014

Alumnos:

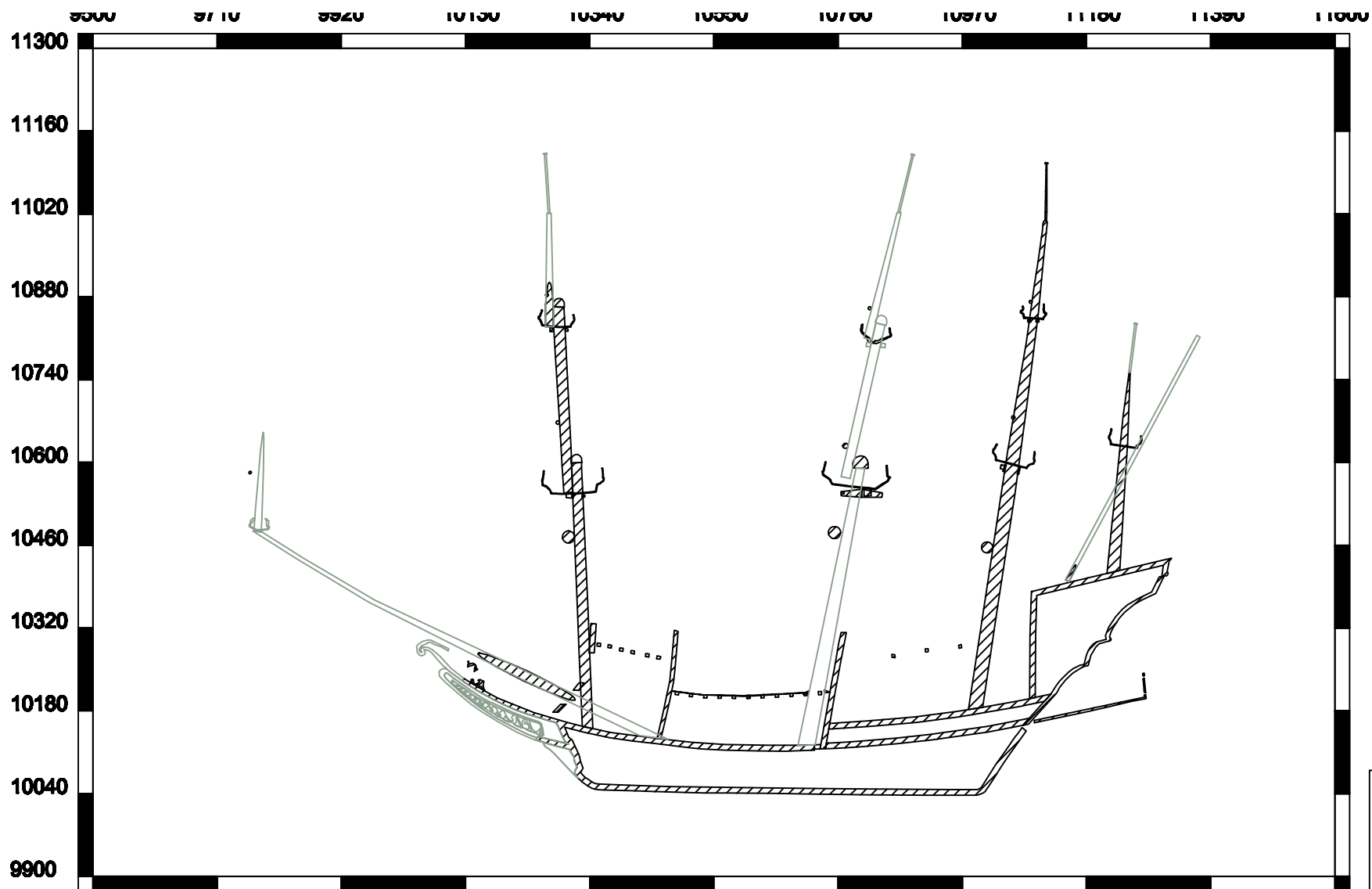
Ángela Jiménez Estrada

E.T.S.I. Topografía,
Geodesia y Cartografía





ANEXO IV. Secciones



MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DEL GALEÓN FLAMENCO DEL MUSEO NAVAL
DE MADRID POR MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS (JARCIA Y ORNAMENTACIÓN)

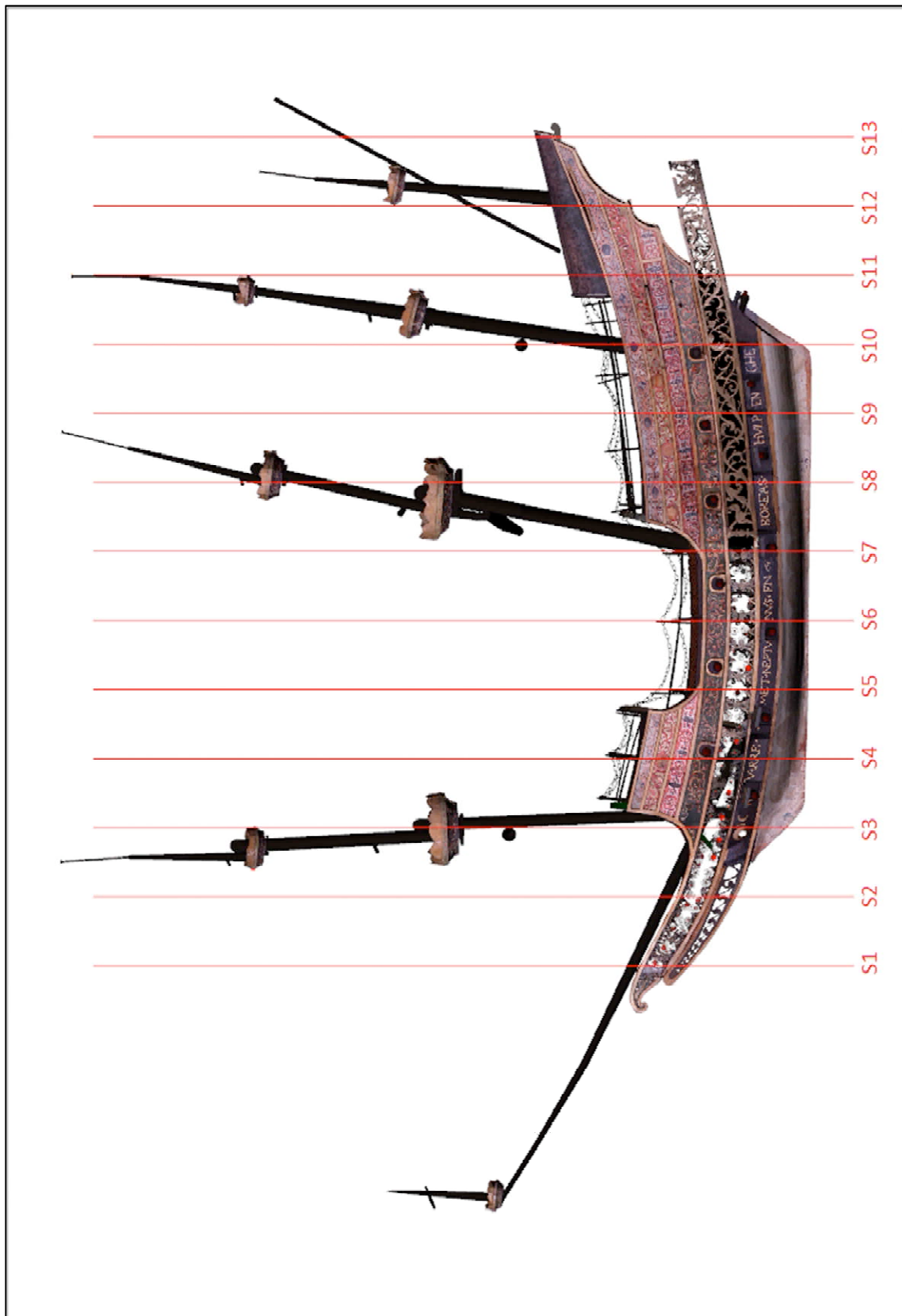
Título:	Plano longitudinal
Escala: 1/10	Fecha: 28/07/2014

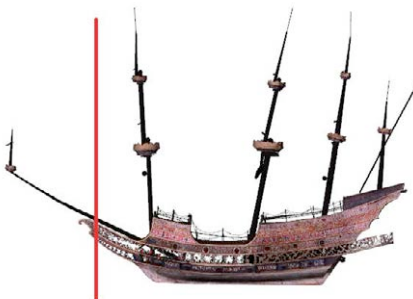
Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada

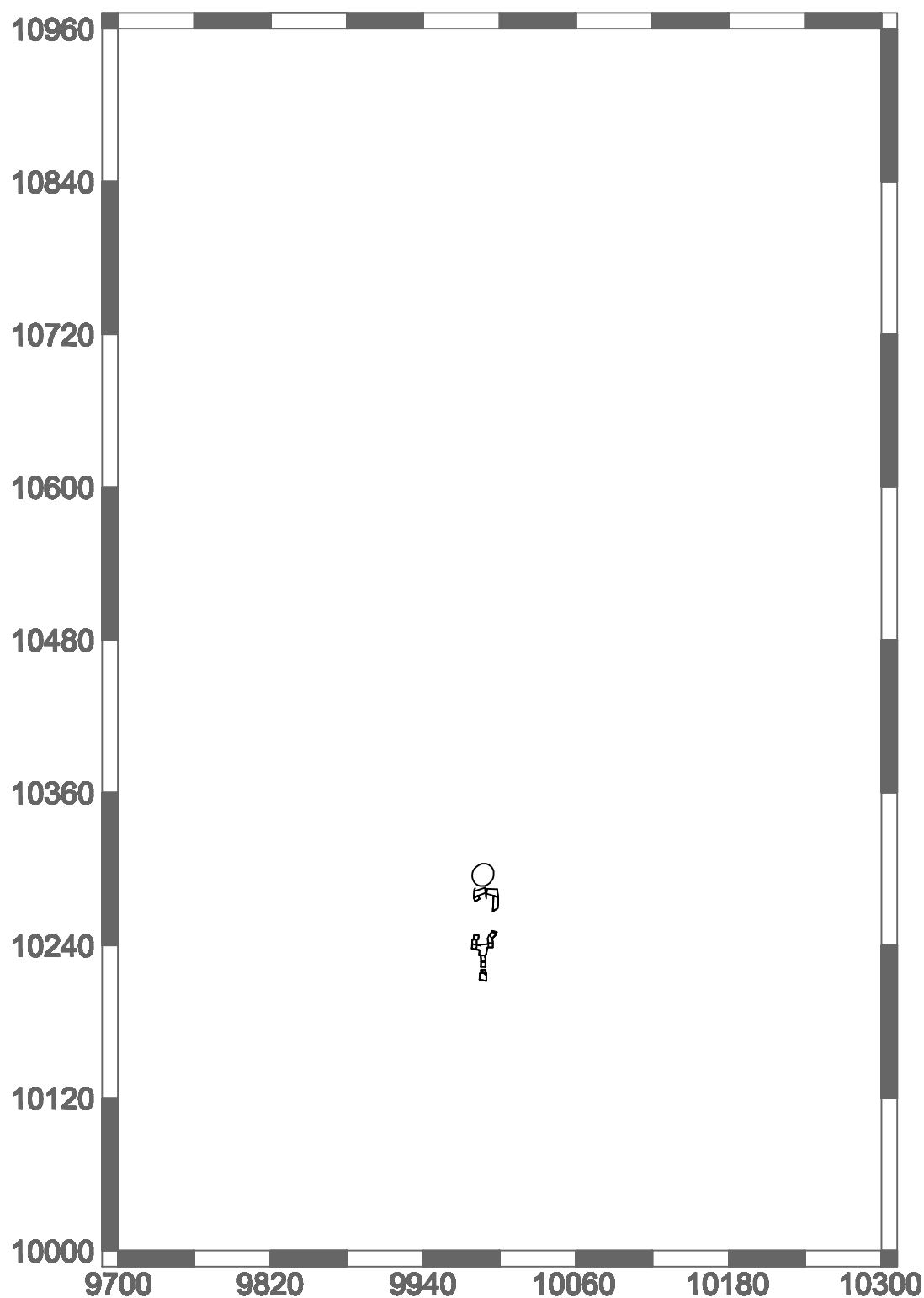
E.T.S.I. Topografía,
Geodesia y Cartografía



CROQUIS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

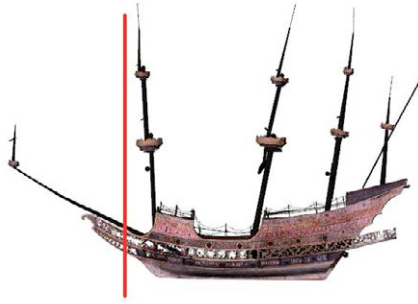


<p>Titulo</p> <p>Plano Transversal nº 1</p>		<p>Escala</p> <p>1/5</p>
<p>Alumnos:</p> <p>Ángela Jiménez Estrada</p>		<p>Fecha:</p> <p>01/08/2014</p>



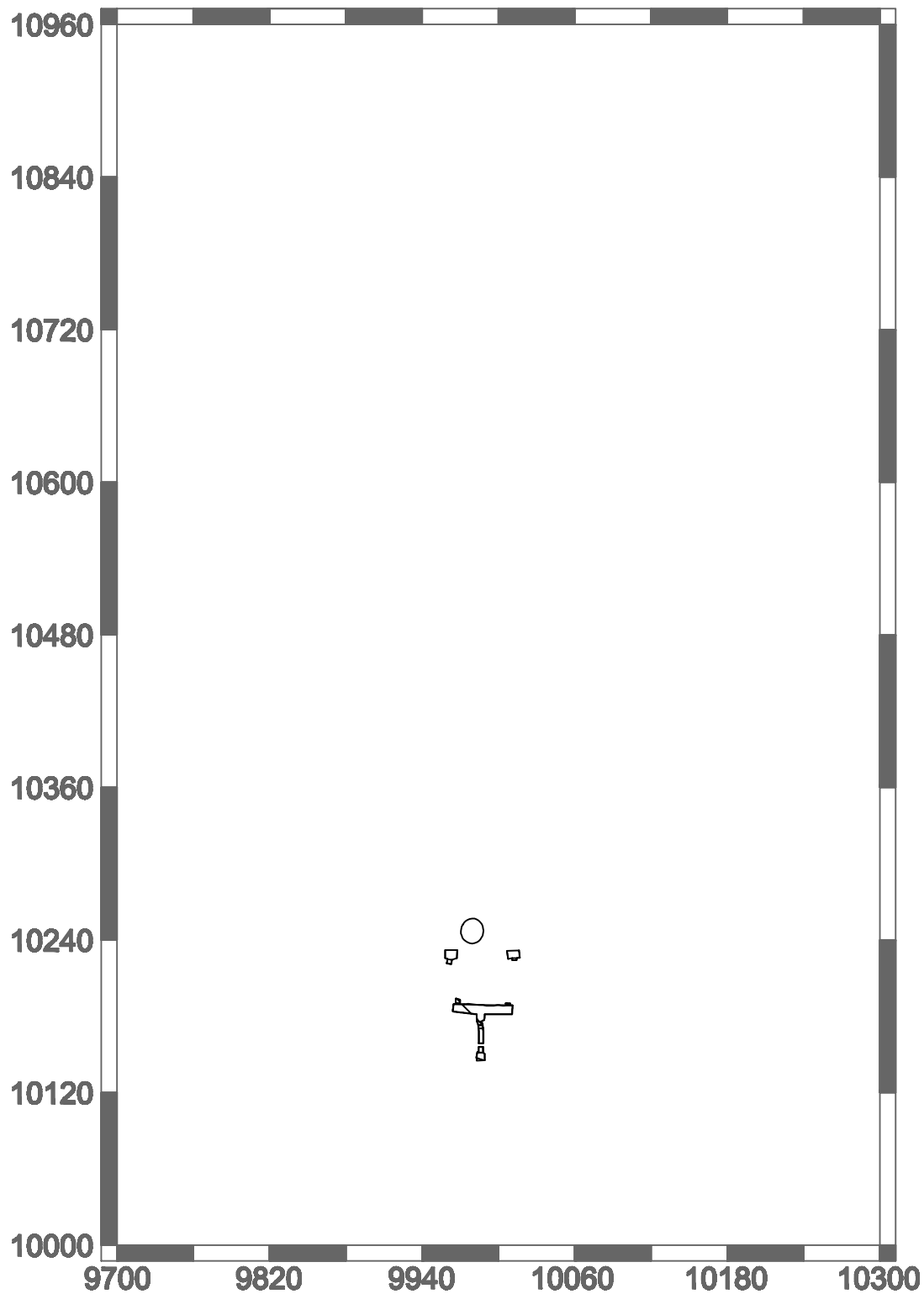
Título
Plano Transversal nº 2

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada



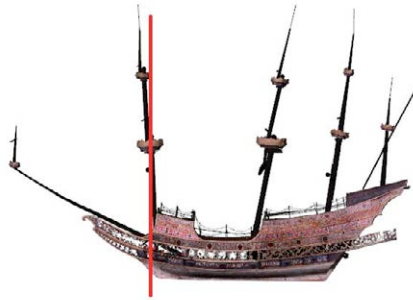
Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014



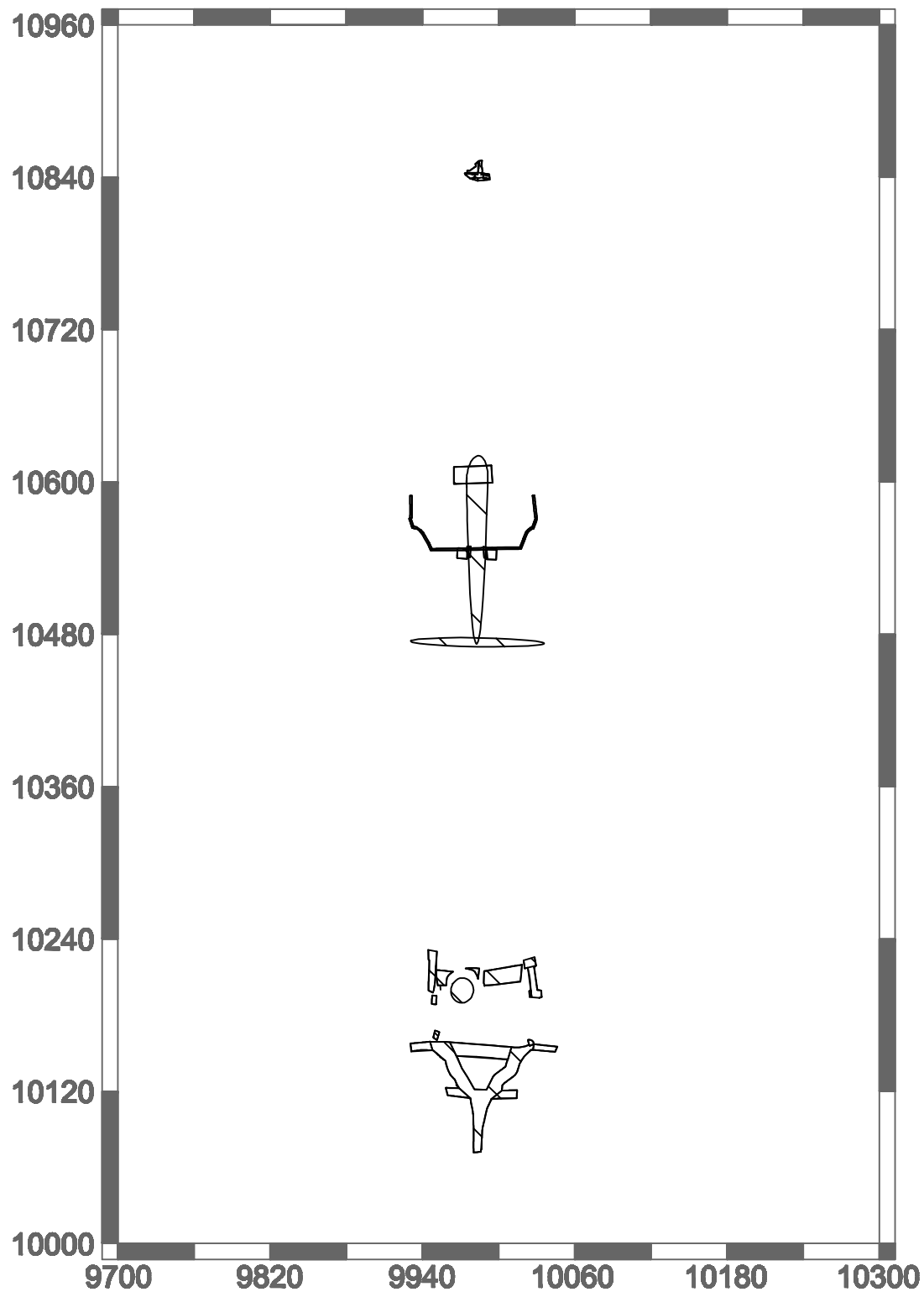
Titulo
Plano Transversal nº 3

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada



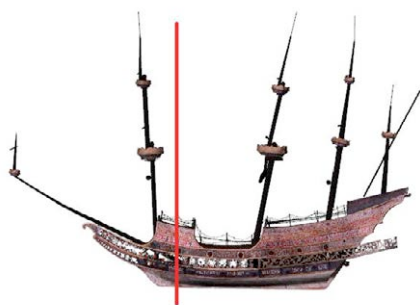
Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014



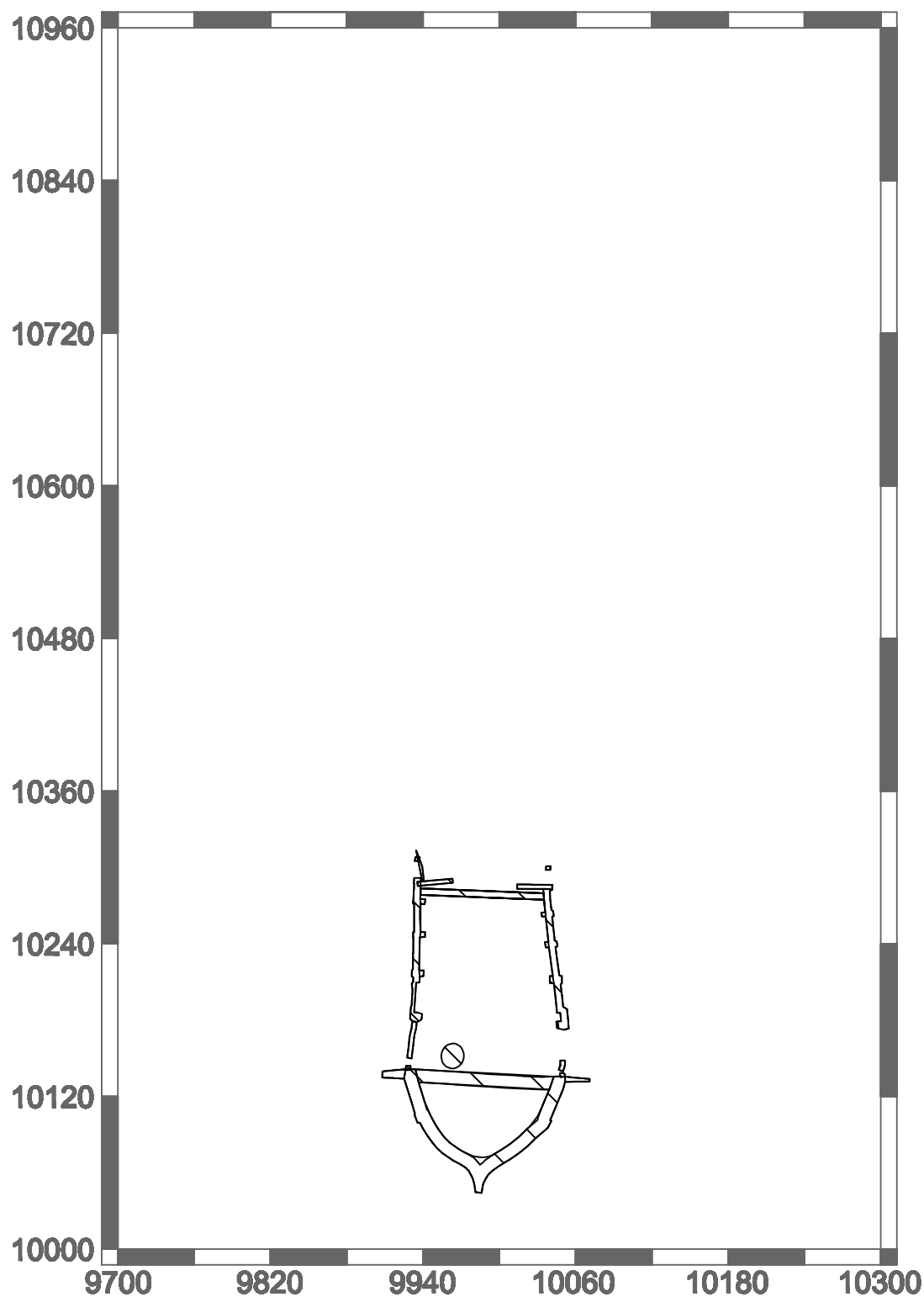
Titulo
Plano Transversal nº 4

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada



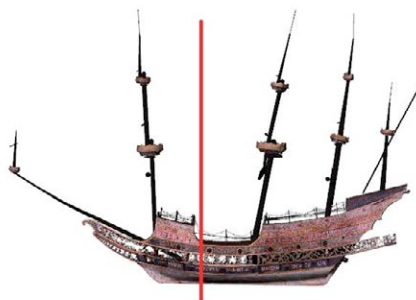
Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014



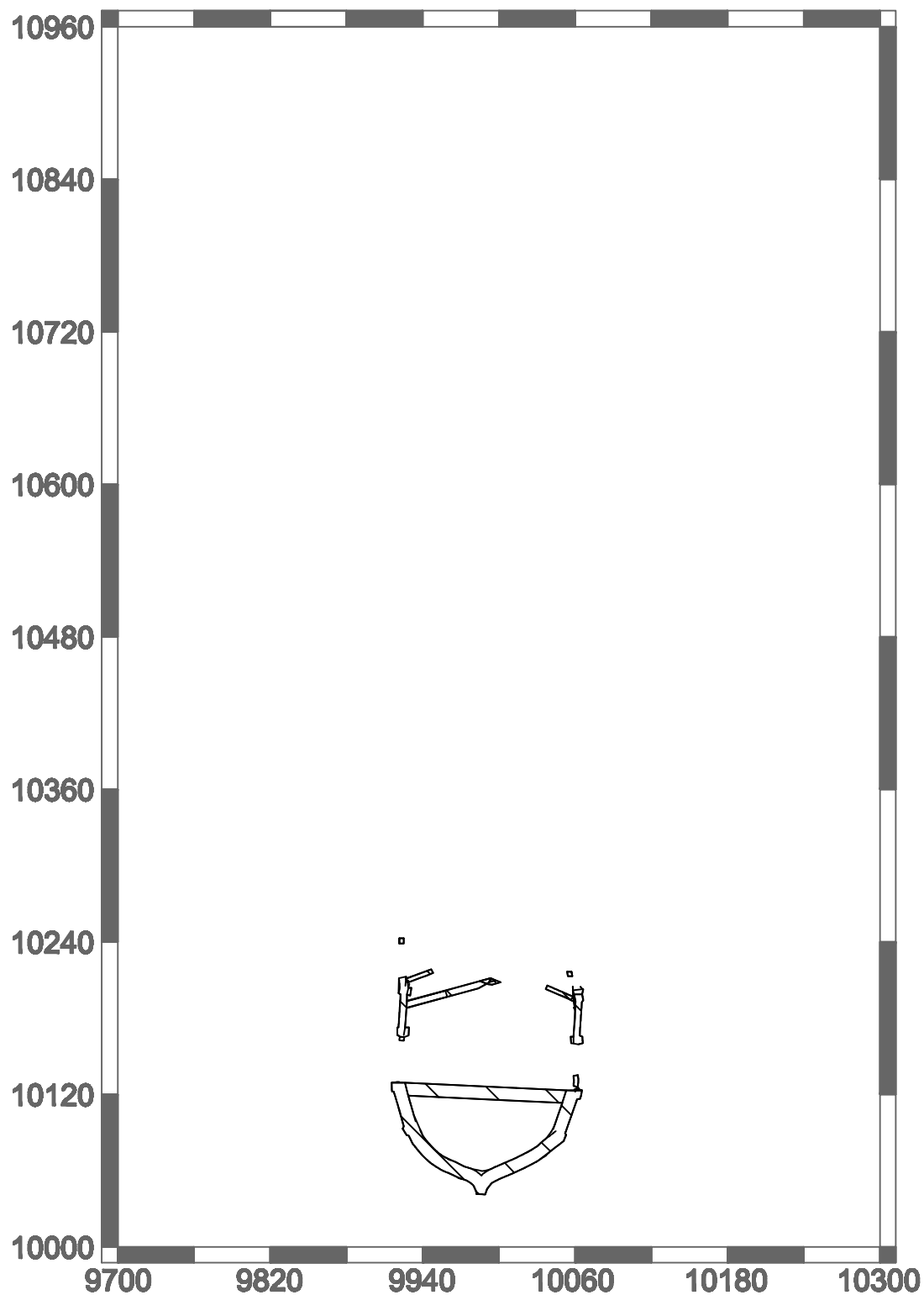
Título
Plano Transversal nº 5

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada



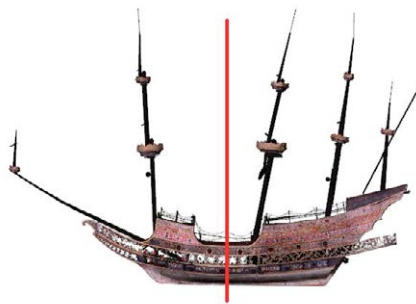
Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014



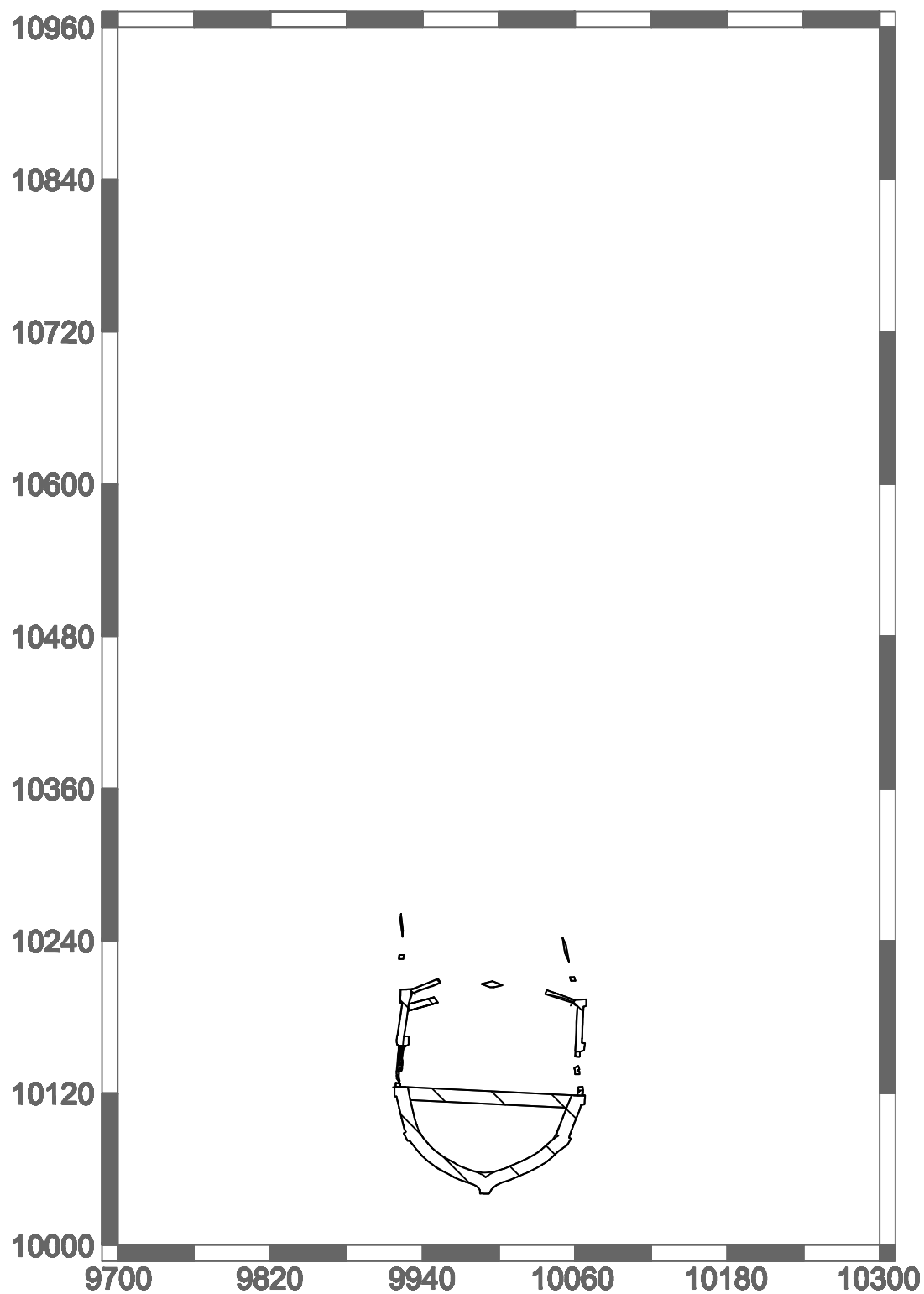
Titulo
Plano Transversal nº 6

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada



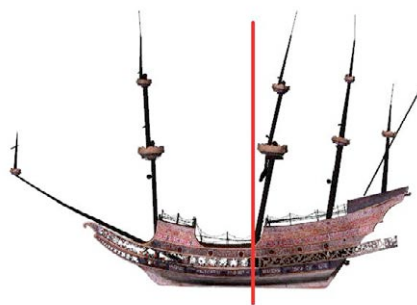
Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014



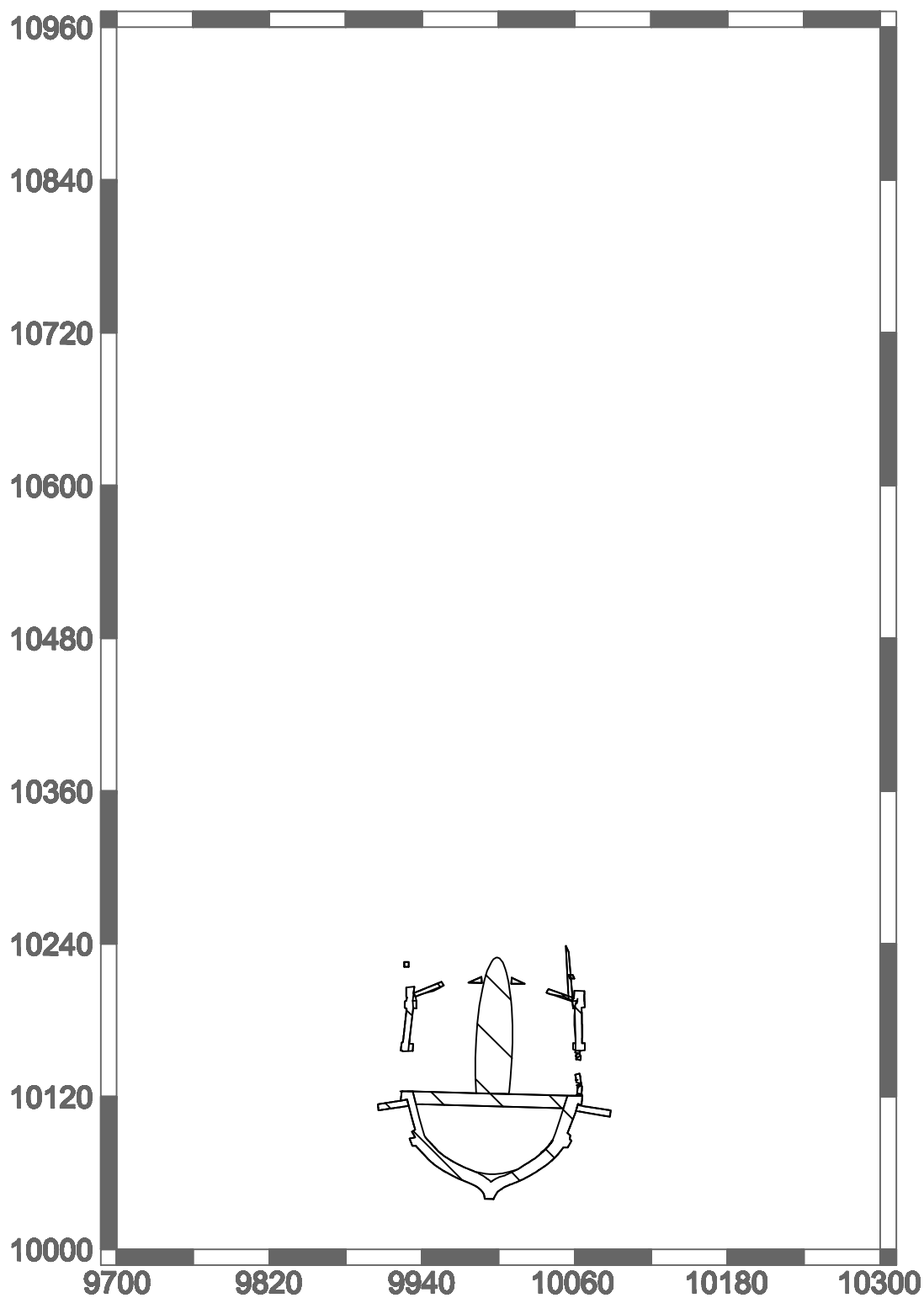
Titulo
Plano Transversal nº 7

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada

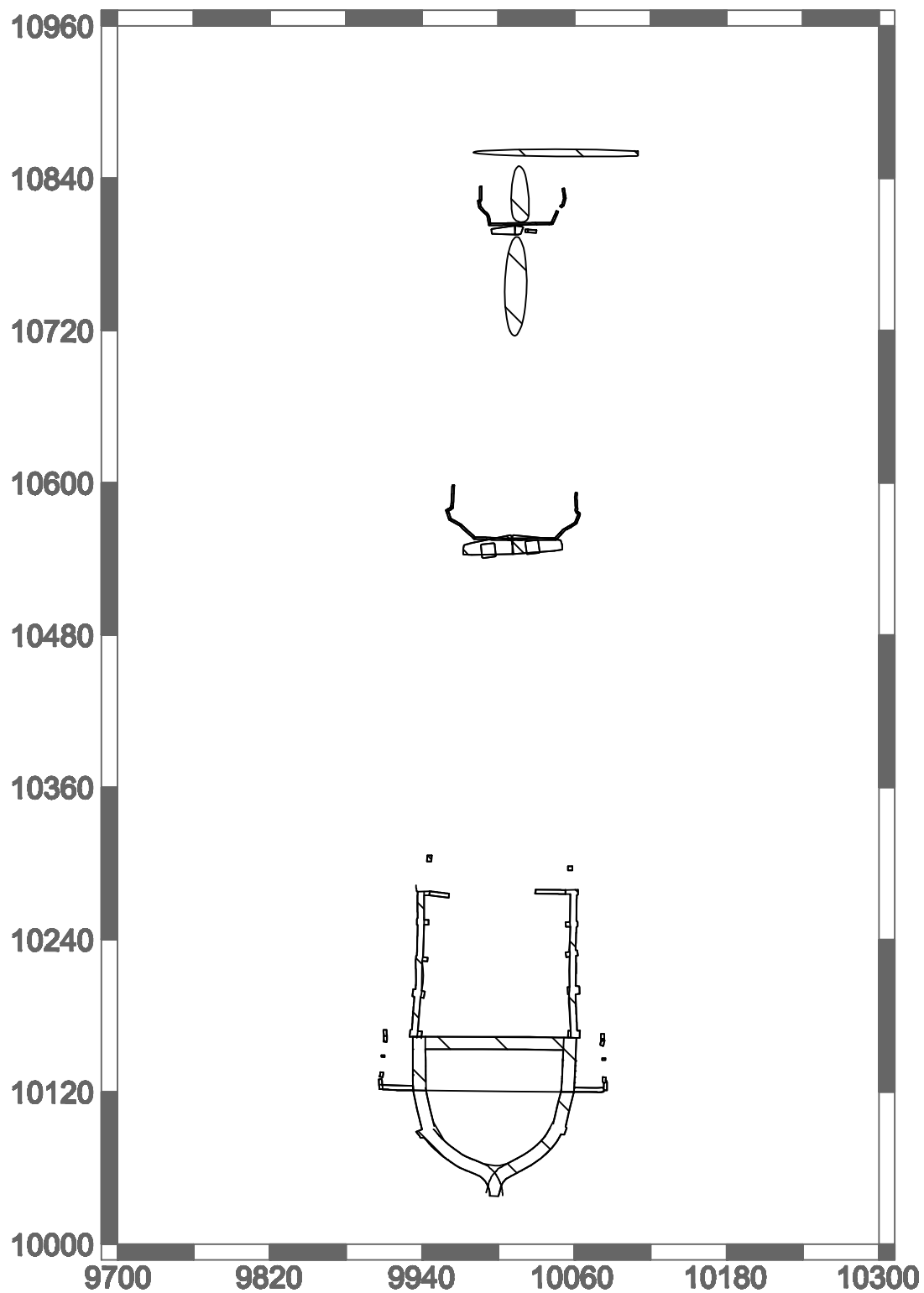


Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014

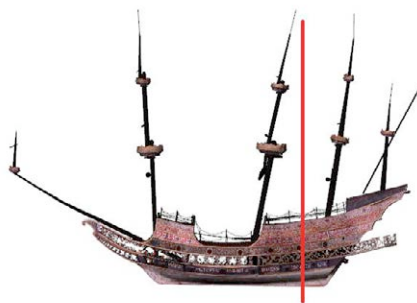


<p>Titulo</p> <p>Plano Transversal n° 8</p>		<p>Escala</p> <p>1/5</p>
<p>Alumnos:</p> <p>Ángela Jiménez Estrada</p>		<p>Fecha:</p> <p>01/08/2014</p>



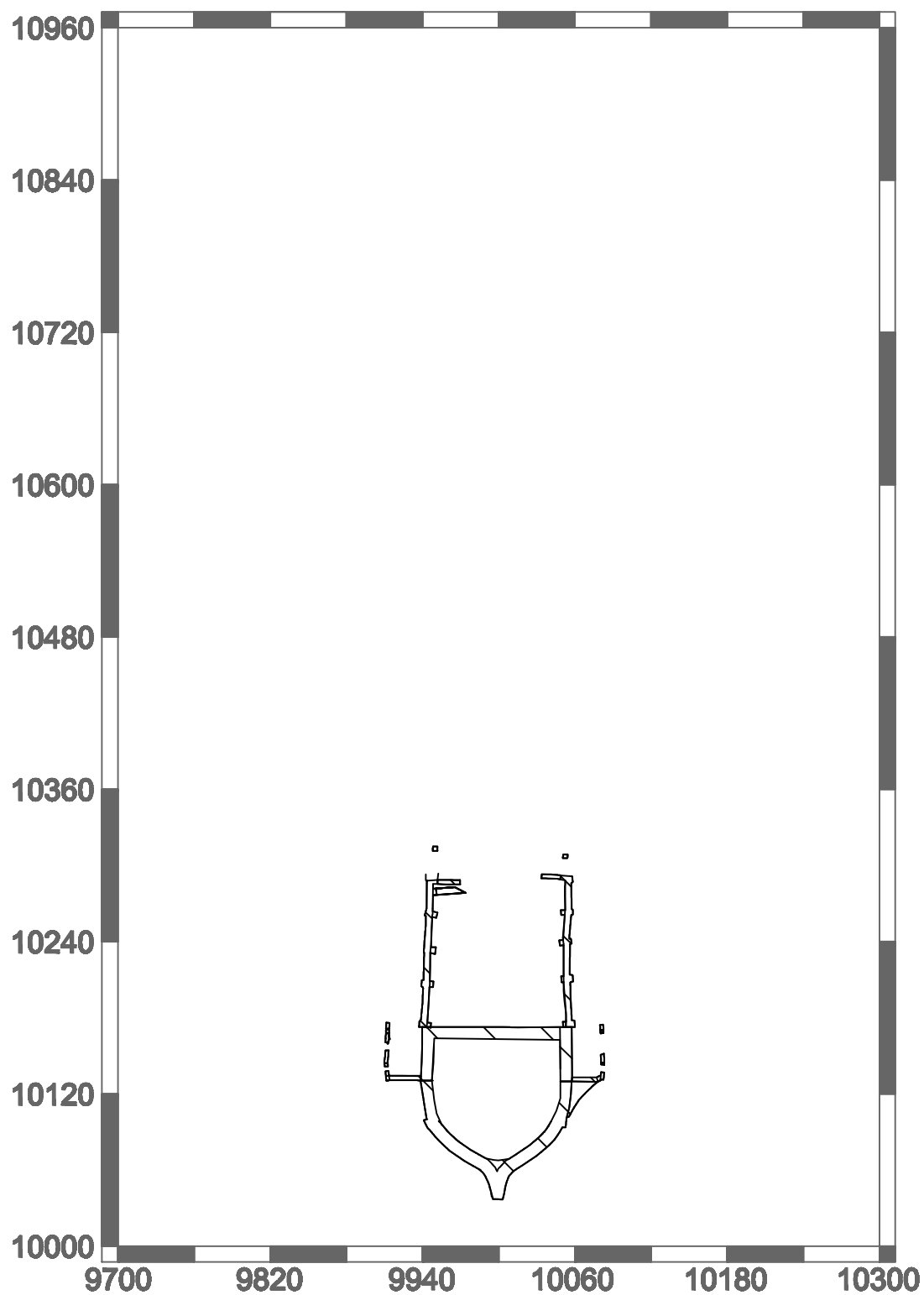
Titulo
Plano Transversal n° 9

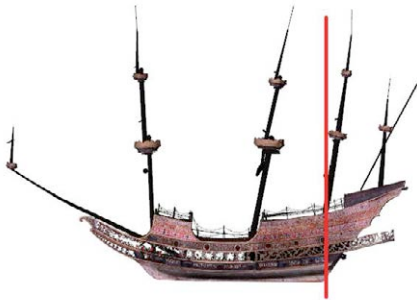
Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada

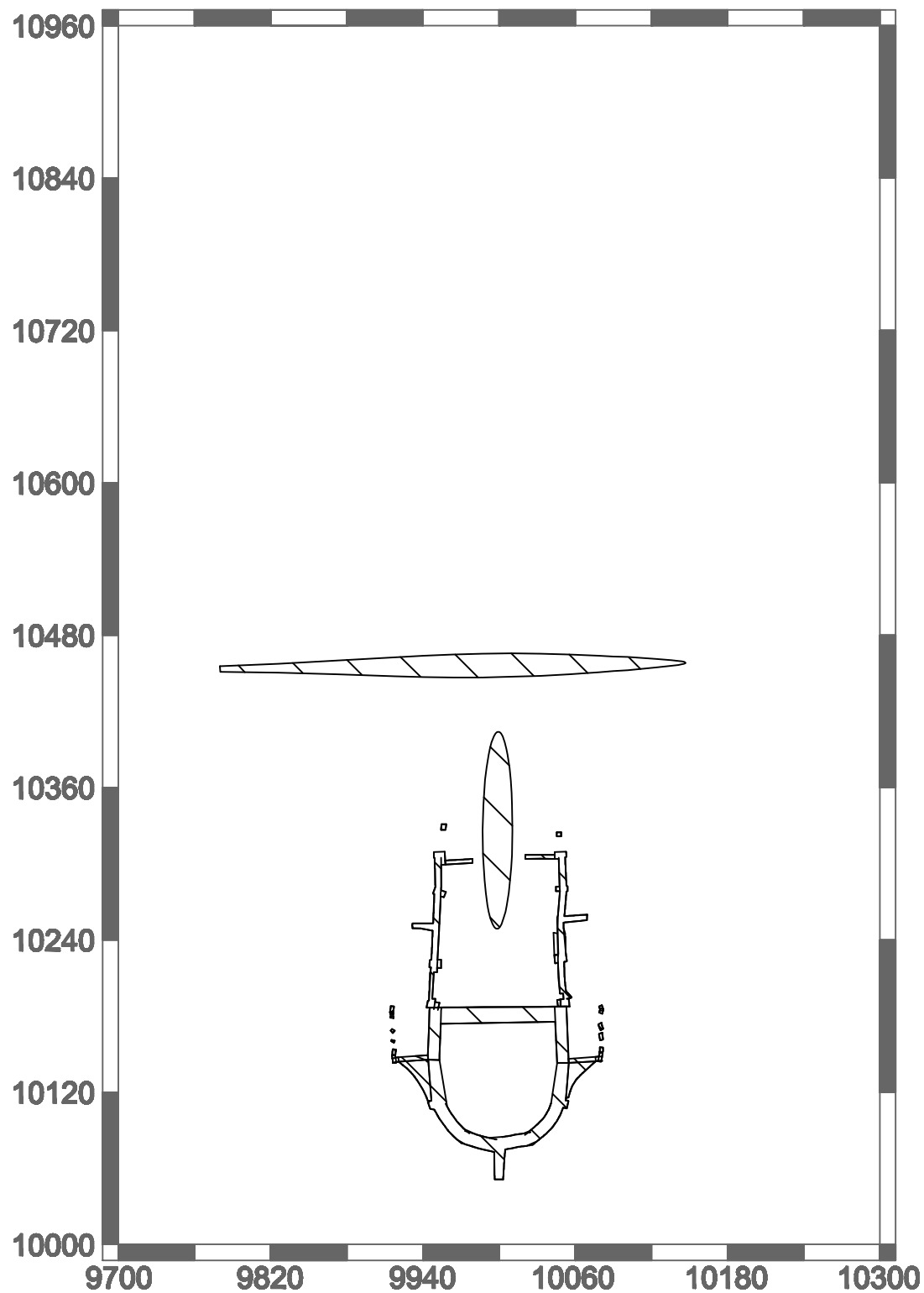


Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014

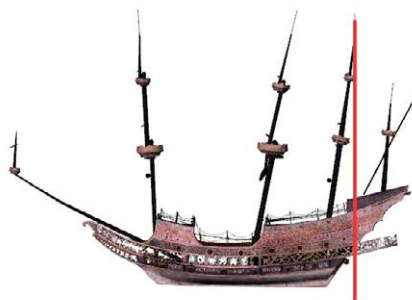


<p>Titulo</p> <p>Plano Transversal nº 10</p>		<p>Escala</p> <p>1/5</p>
<p>Alumnos:</p> <p>Ángela Jiménez Estrada</p>		<p>Fecha:</p> <p>01/08/2014</p>



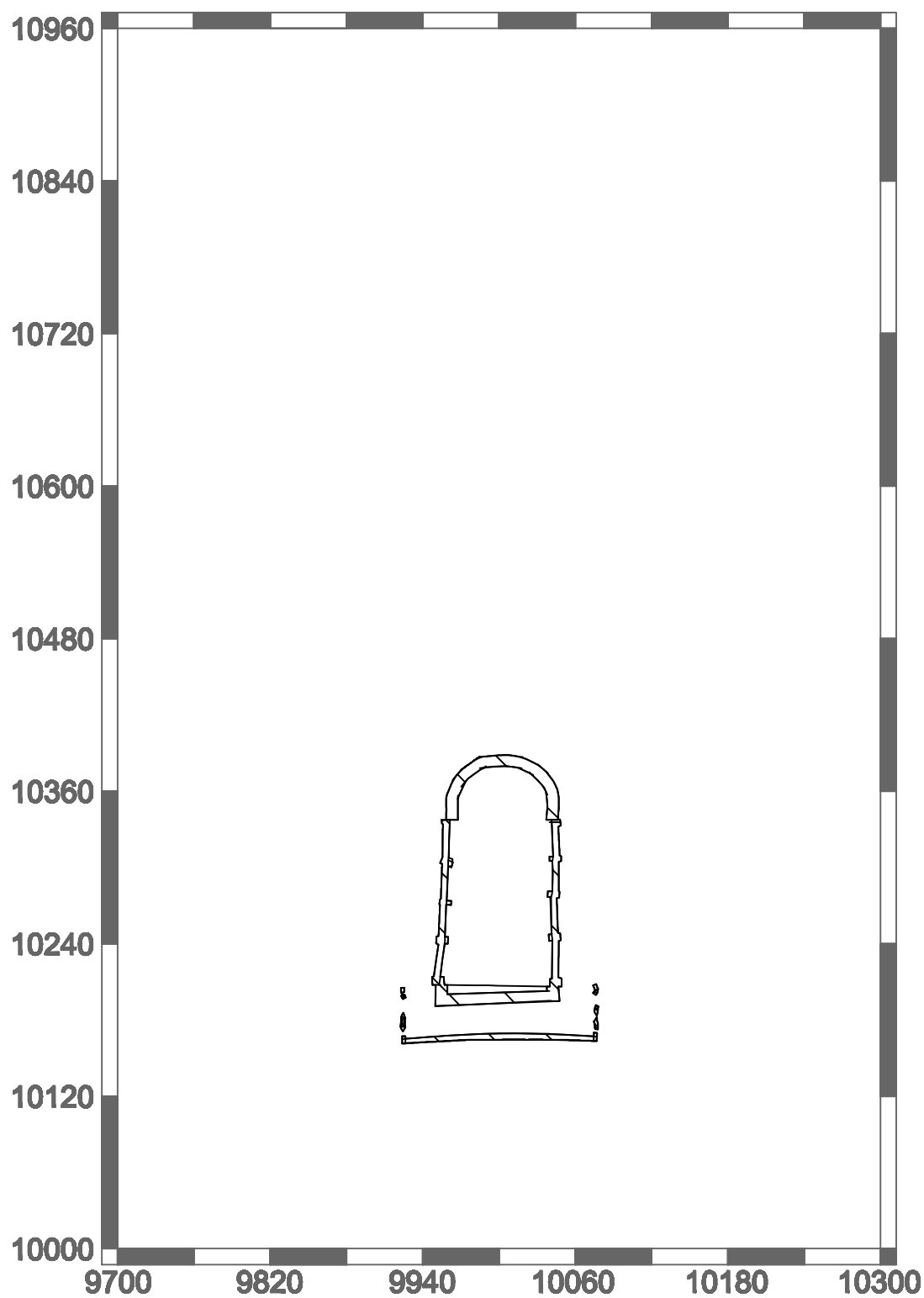
Titulo
Plano Transversal nº 11

Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada



Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014



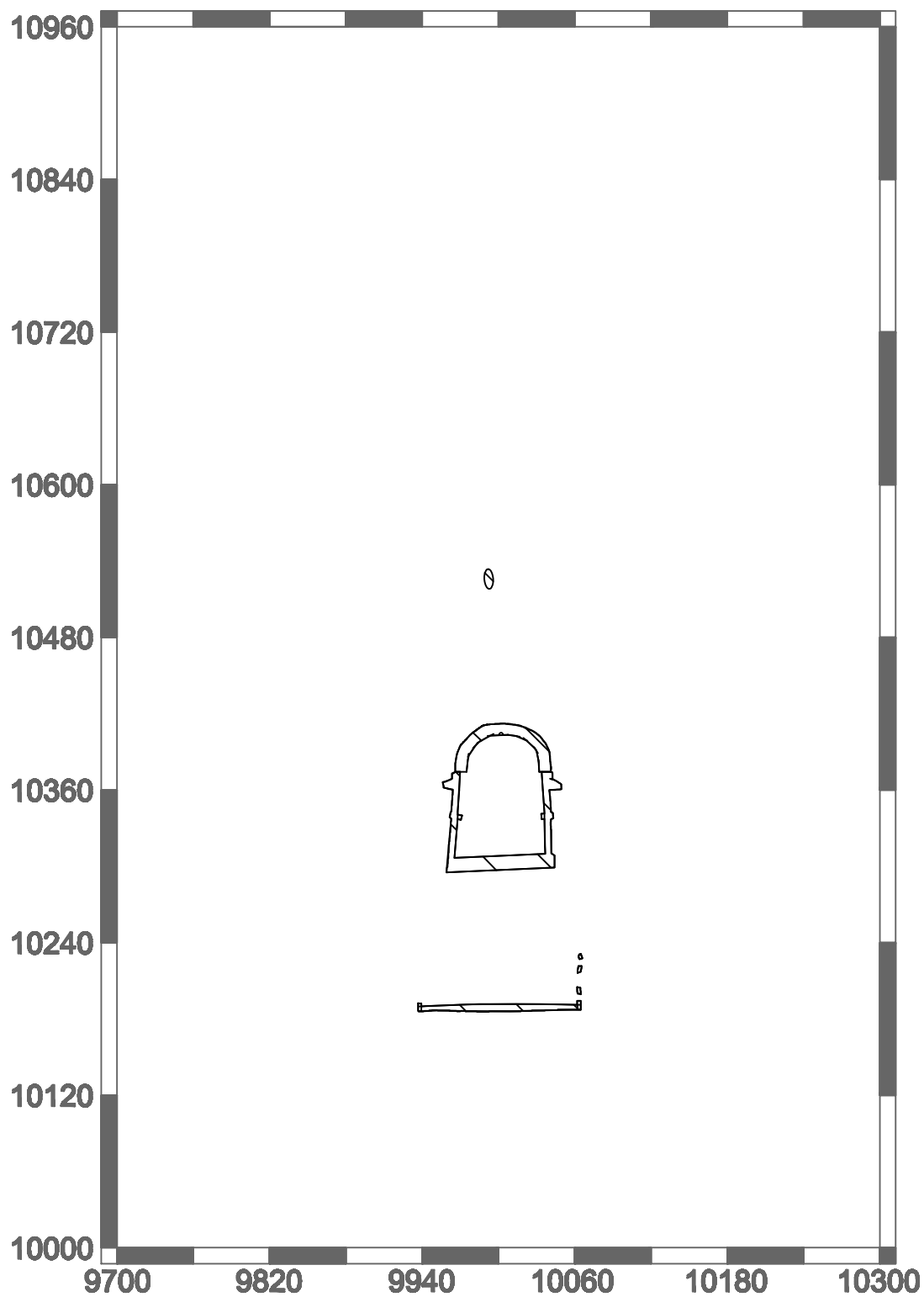
Titulo
Plano Transversal nº 12

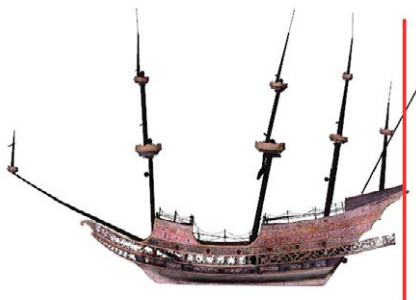
Alumnos:
Ángela Jiménez Estrada



Escala
1/5

Fecha:
01/08/2014



<p>Titulo</p> <p>Plano Transversal nº 13</p>		<p>Escala</p> <p>1/5</p>
<p>Alumnos:</p> <p>ängela Jiménez Estrada</p>		<p>Fecha:</p> <p>01/08/2014</p>

